

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NAPÁJENÍ DOMU ENERGIÍ Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

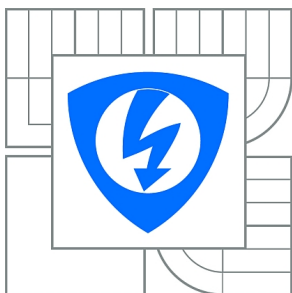
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MICHAL GABORČÍK

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

# NAPÁJENÍ DOMU ENERGIÍ Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

DESIGN OF DOMESTIC ENERGY SUPPLY SYSTEM USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MICHAL GABORČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTONÍN MATOUŠEK, CSc.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

**Student:** Michal Gaborčík

**ID:** 125426

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

## NÁZEV TÉMATU:

**Napájení domu energií z obnovitelných zdrojů**

## POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rozbor možností využití různých druhů obnovitelných zdrojů.
2. Stanovení velikosti objektu a požadovaného příkonu.
3. Návrh vhodného technologického zařízení a jeho zapojení.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení projektu.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 25.5.2012

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

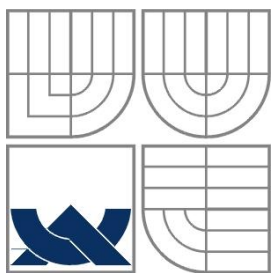
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

GABORČÍK, M. Napájení domu energií z obnovitelných zdrojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 76 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Antonínu Matouškovi, CSc. za vedení práce a cenné připomínky a také svým rodičům za veškerou dosavadní podporu.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**

**Ústav elektroenergetiky**

**Bakalářská práce**

# **Napájení domu energií z obnovitelných zdrojů**

**Michal Gaborčík**

**vedoucí: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2012**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**Faculty of Electrical Engineering and Communication  
Department of Electrical Power Engineering**

**Bachelor's Thesis**

# **Design of domestic energy supply system using renewable sources**

**by**

**Michal Gaborčík**

**Supervisor: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.**

**Brno University of Technology, 2012**

**Brno**

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi využití obnovitelných zdrojů energie pro napájení rodinného domu. V teoretické části je zpracována řešerše ohledně dostupných technologií využívající solární kolektory, fotovoltaické panely a tepelné čerpadla. V praktické části jsou pro konkrétní rodinný dům vypočteny předpokládané hodnoty potřeb energie na vytápění, ohřev teplé vody a pokrytí spotřeby elektrických zařízení. Z těchto hodnot se vychází při návrhu systému, využívající tepelné čerpadlo vzduch-voda pro vytápění a ohřev teplé vody. Pro částečné pokrytí spotřeby elektrické energie je proveden srovnávací návrh fotovoltaického systému využívající polykrystalickou a tenkovrstvou technologii. Na závěr jsou navržené systémy zhodnoceny z technického a ekonomického hlediska.

## **KLÍČOVÁ SLOVA:**

obnovitelné zdroje energie, solární kolektor, fotovoltaický systém, tepelné čerpadlo, ohřev teplé vody, vytápění, výroba elektrické energie, rodinný dům

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with possibilities of utilization of renewable energy sources for domestic power supply. In theoretical part is created research about available technologies using solar collectors, photovoltaic systems and heat pumps. In practical part there are calculated expected values of energy needed for heating of family house, domestic hot water heating and electrical consumption of appliances. These values are bases for system design using air to water heat pump for heating and domestic hot water heating. As far as photovoltaic system is concerned there is comparative design of systems using polycrystalline and thin-layer technology. At the end both designed systems are evaluated from technical and economical points of view.

## **KEY WORDS:**

renewable energy sources, solar collector, photovoltaic systém, heat pump, domestic hot water heating, heating of family house, generation of electrical energy, family house



# OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ:</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM TABULEK:</b>	<b>12</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK:</b>	<b>13</b>
<b>1 ÚVOD</b>	<b>14</b>
<b>2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE</b>	<b>15</b>
<b>2.1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ A JEHO VÝZNAM</b>	<b>15</b>
<b>2.2 AKTIVNÍ SYSTÉMY FOTOTERMÁLNÍ PŘEMĚNY</b>	<b>16</b>
2.2.1 SOLÁRNÍ KOLEKTORY	16
2.2.2 SOLÁRNÍ SYSTÉMY	19
<b>2.3 VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE ZE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ</b>	<b>24</b>
2.3.1 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK	24
2.3.2 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY A JEJICH SOUČÁSTI	26
2.3.3 LEGISLATIVA A SOUČASNÁ SITUACE OHLEDNĚ FV SYSTÉMŮ	30
<b>2.4 DOSTUPNOST SOLÁRNÍ ENERGIE</b>	<b>32</b>
<b>2.5 SHRNUÍ VÝHOD A NEVÝHOD VYUŽITÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ</b>	<b>34</b>
<b>3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ NÍZKOPOTENCIÁLNÍ ENERGIE</b>	<b>35</b>
<b>3.1 TEPELNÉ ČERPADLO A JEHO PRINCIP</b>	<b>35</b>
3.1.1 KOMPRESOROVÉ TEPELNÉ ČERPADLA	36
<b>3.2 MOŽNOSTI APLIKACÍ TEPELNÝCH ČERPADEL</b>	<b>37</b>
3.2.1 TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH-VODA	37
3.2.2 TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ-VODA	38
3.2.3 TEPELNÉ ČERPADLO VODA-VODA	39
3.2.4 TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH-VZDUCH	40
<b>3.3 BIVALENTNÍ ZAPOJENÍ TČ</b>	<b>40</b>
<b>3.4 SHRNUÍ VÝHOD A NEVÝHOD UŽITÍ TČ</b>	<b>41</b>
<b>4 STANOVENÍ OBJEKTU</b>	<b>42</b>
<b>4.1 UMÍSTĚNÍ A ORIENTACE RD</b>	<b>42</b>
<b>4.2 OBECNÉ PARAMETRY LOKALITY:</b>	<b>42</b>
<b>4.3 POPIS DOMU</b>	<b>43</b>
<b>5 STANOVENÍ POTŘEB ENERGIE RODINNÉHO DOMU</b>	<b>44</b>
<b>5.1 STANOVENÍ POTŘEBY TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ</b>	<b>44</b>
<b>5.2 STANOVENÍ POTŘEBY TEPLA NA OHŘEV TUV</b>	<b>45</b>
<b>5.3 STANOVENÍ POTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE</b>	<b>47</b>
<b>6 NÁVRH SYSTÉMU S TEPELNÝM ČERPADLEM</b>	<b>49</b>
<b>6.1 VÝBĚR TYPU TČ</b>	<b>49</b>
<b>6.2 DIMENZOVÁNÍ SYSTÉMU A VÝBĚR MODELU TČ</b>	<b>49</b>
6.2.1 TEPELNÉ ČERPADLO IVT AIR 70	50
<b>6.3 NÁVRH HYDRAULICKÉHO ZAPOJENÍ A POPIS PROVOZU SYSTÉMU</b>	<b>52</b>

---

6.4 NÁVRH ELEKTRICKÉHO ZAPOJENÍ SYSTÉMU .....	52
6.5 TARIFNÍ SAZBA D56D PRO TČ .....	52
7 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU .....	55
7.1 VÝBĚR PANELŮ, STŘÍDAČE A URČENÍ ZPŮSOBU ZAPOJENÍ.....	55
7.2 NÁVRH TECHNICKÉHO PROVEDENÍ SYSTÉMU.....	56
8 TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	59
8.1 TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ .....	59
8.2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	61
8.2.1 TEPELNÉ ČERPADLO.....	61
8.2.2 FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM.....	63
9 ZÁVĚR.....	66
POUŽITÁ LITERATURA .....	68
PŘÍLOHA A: TECHNICKÝ LIST TČ A VNITŘNÍ JEDNOTKY.....	70
PŘÍLOHA B: TECHNICKÝ LIST CANADIAN SOLAR CS6P 250P .....	71
PŘÍLOHA C: TECHNICKÝ LIST NEXPOWER NT-150AX .....	72
PŘÍLOHA D: TECHNICKÝ LIST STŘÍDAČE KACO POWADOR 4400 A KACO POWADOR 6002.....	73
PŘÍLOHA E: DIMENZOVÁNÍ FVE 1.....	74
PŘÍLOHA F: DIMENZOVÁNÍ FVE 2.....	75
PŘÍLOHA G: PŘEDPOKLÁDANÉ HODNOTY VÝKONŮ URČENÉ POMOCÍ PROGRAMU PVGIS .....	76

## SEZNAM OBRÁZKŮ:

<i>Obr. 2 - 1: Přímé a nepřímé přeměny sluneční energie na jiné formy [2]</i>	15
<i>Obr. 2 - 2: Princip solárního kolektoru [4]</i>	16
<i>Obr. 2 - 3: Nezakrytý plastový absorber [5]</i>	17
<i>Obr. 2 - 4: Řez konstrukcí plochého kolektoru [7]</i>	17
<i>Obr. 2 - 5: Přímoprůtočná konstrukce a konstrukce s tepelnými trubicemi [9]</i>	18
<i>Obr. 2 - 7: Plochý vakuový kolektor [10]</i>	19
<i>Obr. 2 - 8: Schéma zapojení primárního okruhu [1]</i>	21
<i>Obr. 2 - 9: Schéma solární přípravy TUV pro RD [11]</i>	22
<i>Obr. 2 - 10: Schéma kombinovaného solárního systému s integ. solár. zásobníkem tepla [12]</i>	23
<i>Obr. 2 - 11: Princip fotovoltaického článku [13]</i>	24
<i>Obr. 2 - 12: V-A charakteristika FV článku a MPP [14]</i>	25
<i>Obr. 2 - 13: Schéma autonomního systému s přímým napájením [17]</i>	27
<i>Obr. 2 - 14: Schéma autonomního systému s akumulací energie [17]</i>	28
<i>Obr. 2 - 15: Schéma hybridního autonomního systému [17]</i>	28
<i>Obr. 2 - 16: Schéma síťového systému pro vlastní spotřebu a prodeje přebytků [17]</i>	29
<i>Obr. 2 - 17: Schéma síťového systému s přímým připojením do sítě [17]</i>	30
<i>Obr. 2 - 18: Průměrné roční hodnoty slunečního svitu v ČR v kWh/m<sup>2</sup> [21]</i>	32
<i>Obr. 2 - 19: Závislost slunečního záření v závislosti na orientaci a sklonu solár. systému [17]</i>	33
<i>Obr. 3 - 1: Schéma kompresorového tepelného čerpadla [1]</i>	36
<i>Obr. 3 - 2: Obrácený Clausius-Rankinův cyklus [1]</i>	37
<i>Obr. 3 - 3: Schéma systému vzduch-voda [23]</i>	38
<i>Obr. 3 - 4: Schéma systému země-voda s zemními kolektory [23]</i>	39
<i>Obr. 3 - 5: Schéma systému voda-voda [24]</i>	40
<i>Obr. 4 - 1: Umístění plánovaného rodinného domu</i>	42
<i>Obr. 4 - 2: Vizualizace plánovaného rodinného domu [27]</i>	43
<i>Obr. 5 - 1: Tepelné ztráty obálkou budovy [28]</i>	44
<i>Obr. 6 - 1: Graf závislosti míry bivalence na množství energie dodané TČ - určení [32]</i>	51
<i>Obr. 6 - 2: Hydraulické schéma zapojení TČ a vnitřní jednotky</i>	53
<i>Obr. 6 - 3: Elektrické schéma zapojení TČ a vnitřní jednotky</i>	54
<i>Obr. 7 - 1: Jednopolové schéma zapojení FVE 1, 8,00 kWp</i>	57
<i>Obr. 7 - 2: Jednopolové schéma zapojení FVE 2, 5,40 kWp</i>	58
<i>Obr. 8 - 1: Graf rozložení spotřeby elektrické energie v jednotlivých měsících</i>	60

---

<i>Obr. 8 - 2: Graf měsíční rozložení spotřeby a výroby elektrické energie .....</i>	<i>60</i>
--	-----------

**SEZNAM TABULEK:**

<i>Tab. 2 - 1: Orientační srovnání parametrů jednotlivých typů fotovoltaických článků [6] .....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 2 - 2: Výkupní ceny pro typ podpory s uvedením v roce 2012 [19] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 3 - 1: Srovnání typických hodnot ročního provozního topného faktoru TČ [3].....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 4 - 1: Průměrné venkovní teploty v měsících otopného období pro oblast [25] .....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 4 - 2: Průměrný měsíční počet hodin slunečního svitu (Brno) [26] .....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 5 - 1: Jmenovité výkony a výpočtové zatížení spotřebičů.....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 6 - 1: Parametry TČ IVT AIR 70.....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 6 - 2: Parametry vnitřní jednotky IVT COMBIMODUL 200 A/W .....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 7 - 1: Parametry vybraných FV panelů [Příloha B a C] .....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 7 - 2: Parametry vybraných střídačů [Příloha D] .....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 8 - 1: Měsíční rozložení potřeby primární energie a spotřeby a výroby elektrické energie ..</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 8 - 2: Pořizovací náklady systému s TČ a elektrokotlem.....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 8 - 3: Srovnání ročních provozních nákladů.....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 8 - 4: Odhadované pořizovací náklady na fotovoltaické systémy .....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 8 - 5: Odhadované výnosy fotovoltaických systémů.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 8 - 6: Doby návratností fotovoltaických systémů .....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 8 - 7: Čistá současná hodnota fotovoltaických systémů.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 8 - 8: Vnitřní výnosové procento fotovoltaických systémů.....</i>	<i>65</i>

**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK:**

$c$ – měrná tepelná kapacita vody	$\varepsilon$ – korekční součinitel
$\cos\varphi$ – účinník	$\eta$ – účinnost
$D$ – počet dennostupňů	$\vartheta$ – teplota
$d$ – počet dní otopného období	$\rho$ – hustota
$i$ – úroková míra	
$I_K$ – proud nakrátko	AC – střídavý proud
$I_{MPP}$ – proud při maximálním výkonu FV článku	ČEPS – česká
$I_v$ – výpočtový proud	ČR – Česká republika
$j$ – doba životnosti	ČSN – česká státní norma
$K_i$ – pořizovací náklady	DC – diskontované náklady
$N$ – počet pracovních dní soustavy pro ohřev	DC – stejnosměrný proud
$n$ – počet vztažných jednotek (dní, osob)	FV – fotovoltaický (systém)
$N_p$ – roční provozní náklady	FVE – fotovoltaická elektrárna
$P_{EL}$ – spotřeba elektrické ostatními spotřebiči	HDO – hromadné dálkové ovládání
$P_{FVE}$ – výkon fotovoltaického systému	IRR – vnitřní výnosové procento
$P_i$ – jmenovitý výkon	NPV – čistá současná hodnota
$P_{TUV}$ – spotřeba elektrické na ohřev TUV	OZE – obnovitelný zdroje energie
$P_V$ – spotřeba elektrické na vytápění	PB – doba návratnosti
$P_{vz}$ – výpočtové zatížení	PTČ – výkon
$Q_c$ – tepelná ztráta	RD – rodinný dům
$Q_{TUV}$ – potřeba tepla na ohřev teplé vody	SPF – průměrný roční topný faktor
$Q_v$ – potřeba tepla na vytápění	TČ – tepelné čerpadlo
$t$ – čas	TUV – teplá užitková voda
$U_0$ – napětí naprázdno	UV – ultrafialové záření
$U_{MPP}$ – napětí při max. výkonu FV článku	V-A – voltampérová (charakteristika)
$U_n$ – jmenovité sdružené napětí sítě	VTE – větrná elektrárna
$V_p$ – měrná jednotková spotřeba	ZB – zelený bonus
$z$ – koeficient energetických ztrát systému	
$Z_d$ – čistý roční zisk	

# 1 ÚVOD

Člověk již od počátku své existence potřeboval pro ulehčení svého života a rozvoj energii. V dnešní době jsme na energiích závislejší než kdykoliv před tím. Stále rostoucí spotřeba energie je přímo spojena s rostoucí poptávkou po zdrojích, které jsou doposud tvořeny ze značné části fosilními palivy. Následkem úbytků dostupných zdrojů, neustále rostoucím cenám energií a v neposlední řadě dopadu spalování na životní prostředí se lidstvo začalo ohlížet po zdrojích energií, které by aspoň částečně mohly zastoupit „tradiční“ fosilní zdroje. Jedním z možných řešení je využití obnovitelných zdrojů energií, mezi které řadíme především sluneční energii, energii větru, biomasu, energii prostředí a další. V současnosti jsou aplikovány systémy využívající tyto zdroje energií v různých měřítkách, a to především z důvodu snížení závislosti na tradičních zdrojích nebo jejich nedostupnosti. Z důvodu rostoucích možností využití obnovitelných zdrojů energií i v malých aplikacích, je tato práce věnována tomuto často diskutovanému tématu s cílem navrhnout systém pro pokrytí spotřeby energií na napájení rodinného domu. Největší množství spotřebované energie v rodinných domech připadá především na vytápění a ohřev teplé vody. Za tímto účelem je v práci vybrán a navržen vhodný topný systém využívající energii z obnovitelného zdroje. Pro minimalizaci množství dodávané elektrické energie ze sítě se dále počítá s využitím fotovoltaického systému, který využívá slunečního záření k výrobě elektřiny. Technické zhodnocení obou navržených systémů je provedeno bilancí předpokládané spotřeby a výroby energie navrženými systémy. Pro vyhodnocení ekonomické výhodnosti investice do navržených systémů je provedeno srovnání s možnými alternativami a pomocí ekonomických ukazatelů jsou následně vyvozeny příslušné závěry.

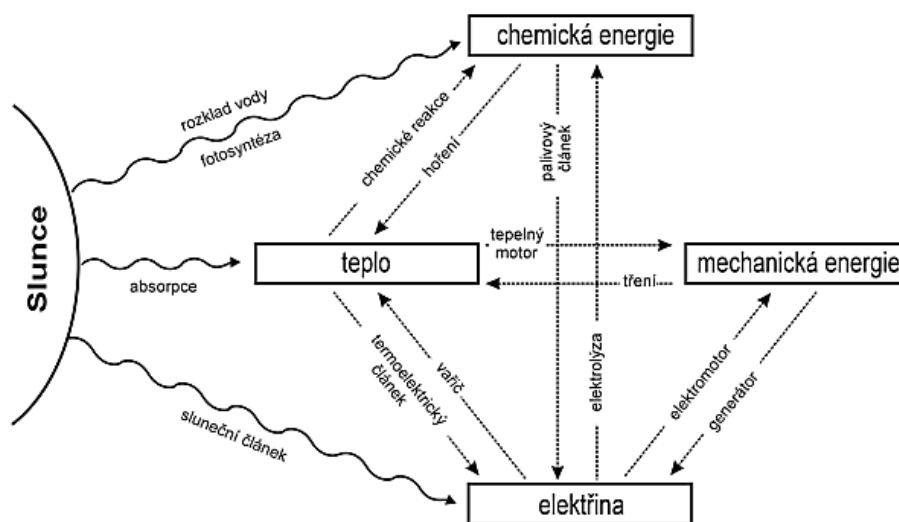
## 2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

### 2.1 Sluneční záření a jeho význam

Zdrojem Sluncem vyzařované energie je neustálé probíhající termonukleární reakce probíhající v centrálních oblastech Slunce, při níž dochází k přeměně vodíku na hélium. Vyzážené sluneční záření zahrnuje vlnové délky od  $10^{-10}$  m (rentgenové a ultrafialové záření) až do několika metrů. Největší část energie připadá na rozsah  $0,2 - 3 \mu\text{m}$ . Z celkové vyzážené energie Sluncem většina uniká do mezihvězdného prostoru a na Zemi dopadá jenom nepatrná část přibližně  $7,7 \cdot 10^{17}$  kW. [1]

Množství sluneční energie, dopadající za jednotku času na jednotku plochy mimo zemskou atmosféru je definována tzv. sluneční konstantou ( $1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Z celkového toku energie se zpět do vesmíru odrazí od mraků, částec prachu a zemského povrchu zhruba 34 %. V atmosféře, pohlcující především nebezpečné ultrafialové a rentgenové záření, se pohltí okolo 19 % energie. Zbývající část sluneční energie je pohlcena zemským povrchem (47 %). [2]

Na Zemi dopadající záření ze Slunce je základním předpokladem možnosti života na naší planetě. Sluneční záření je využíváno přímo k výrobě tepla, chladu a elektřiny, ale také nepřímo, protože značná část využívaných energetických zdrojů je podmíněna přítomností sluneční energie. Energie vodního toku je získávána důsledkem slunečního záření, kdy voda vypařována především z oceánu kondenzuje nad pevninou ve výše položených oblastech a získává větší potenciální energii. Kinetická energie větru je způsobena nerovnoměrným zahříváním zemského povrchu. Energie uložena ve fosilních palivech a biomase je důsledkem fotosyntetické přeměny, která je podmíněna dopadajícím slunečním zářením. [3]



Obr. 2 - 1: Přímé a nepřímé přeměny sluneční energie na jiné formy [2]

Pro využití solární energie v malých aplikacích, např. pro rodinné domy, přichází v úvahu především využití přeměny na tepelnou energii prostřednictvím fototermálních systémů a výroba elektrické energie pomocí fotovoltaických článků, využívajících fotovoltaického jevu.

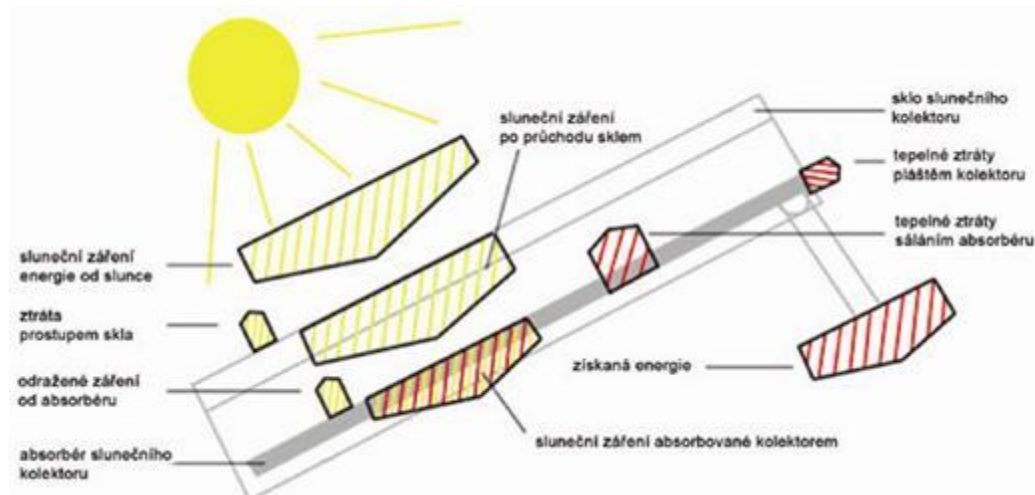


## 2.2 Aktivní systémy fototermální přeměny

Absorpcí slunečního záření na povrchu tuhých látek a kapalin dochází k rozpořádání molekul – transformace v teplo. Pokud je tato tepelná energie odváděna cíleně a transportována teplotou látkou na jiné místo (většinou akumulátor nebo přímo spotřebič) hovoříme o aktivních systémech. Popis jednotlivých částí aktivního systému, jejich funkce a konstrukce budou rozvedeny v následujících podkapitolách.

### 2.2.1 Solární kolektory

V případě aktivních systémů je zachycování slunečního záření prováděno pomocí tzv. solárního kolektoru (sběrače), jehož ústřední částí je absorbér, ve kterém dochází k procesu pohlcení záření, přeměně v teplo a předání teplotou látkou, a to převážně vodě, nemrznoucím směsí nebo vzduchu. Při procesu přeměny vznikají však tepelné ztráty. Část slunečního záření se odráží od čelního skla a nemůže být zachycena absorbérem. Část tepelné energie uniká ve formě tepelných ztrát ještě dříve, než se předá teplotou látkou. V současnosti se vyrábí několik typů solárních kolektorů, které se liší především z hlediska použité konstrukce kolektoru, absorbéru, izolace a teplotou látky.



Obr. 2 - 2: Princip solárního kolektoru [4]

#### 2.2.1.1 Nezakryté absorbéry

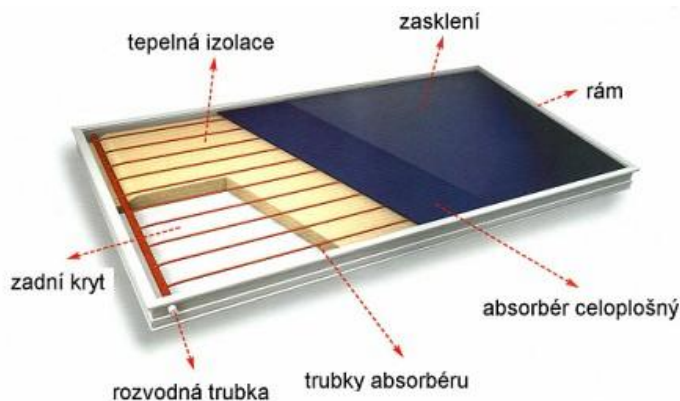
Jedná se o kolektory instalované především do systémů, využívajících sluneční energii pouze sezónně a ve kterých není požadována vysoká výstupní teplota (např. ohřev vody pro bazény). Jde o konstrukčně nejjednodušší solární kolektory tvořeny většinou pouze absorbérem, vyrobeným z plastových (především polyetylén, polypropylén) nebo gumových materiálů s úpravami pro dosažení dobré pohltivosti a propustnosti. Absorbér není zakrytý, a proto je vystaven vnějším povětrnostním vlivům, čímž dochází k proudění vzduchu kolem absorbéru a tím ke zvýšení tepelných ztrát do okolí.



Obr. 2 - 3: Nezakrytý plastový absorbér[5]

### 2.2.1.2 Ploché kolektory

Ploché kolektory nacházejí své uplatnění v aplikacích, ve kterých je požadovaná vyšší výstupní teplota, než je tomu u nezakrytých absorbérů a také v případě potřeby celoročního provozu (teplonosným médiem musí být nemrznoucí směs). Hlavními částmi kolektoru je absorbér, rám, tepelná izolace a zasklení. Absorbér je tvořen absorpční plochou spojenou s registrem měděných trubek sloužícím k samotnému předání tepla teplonosné látce a jejímu odvádění k dalšímu využití. Kvůli zvýšení efektivity pohlcování záření je na povrch absorbéru aplikovaná vrstva tzv. selektivního povlaku s nízkou emisivitou tepelného záření do okolního prostředí, která má značný význam především v zimním období. Trubkový registr, ve kterém proudí teplonosná látka, má různý tvar (nejčastěji meandrovitý) a na způsobu jeho propojení s absorpčními plochami záleží účinnost předávání tepelné energie. Absorbér je umístěn v rámu kolektoru, vyrobeném z lehkého a korozivzdorného materiálu, nejčastěji hliníku. Tento rám je konstruován tak, aby docházelo co nejnižším tepelným ztrátám uvnitř kolektoru, proto je kolektor z přední strany zakryt sklem. Na toto zasklení jsou speciální kladeny požadavky, zvláště na vysokou průchodnost slunečního záření a nízkou odrazivost, z důvodu vzniku optických ztrát. Samotný rám je ze spodní a bočních stran vyplněn tepelnou izolací (většinou je používána minerální vlna) a umístěn ve skříňové vaně. Tato skříňová vana je důkladně utěsněná tak, aby nedocházelo ke vniku vzduchu dovnitř a nebezpečí kondenzace vodní páry uvnitř kolektoru, která by snižovala účinnost systému. V současnosti jsou ploché kapalinové kolektory se selektivní vrstvou nejrozšířenějším typem instalovaných kolektorů pro ohřev vody a podporu vytápění (s teplotou na výstupu do 100 °C). Jejich hlavní výhodou je relativně dobrá účinnost, pohybující se přibližně kolem 70 % a především jejich cena v porovnání s jinými technologiemi. [6], [7]



Obr. 2 - 4: Řez konstrukcí plochého kolektoru [7]

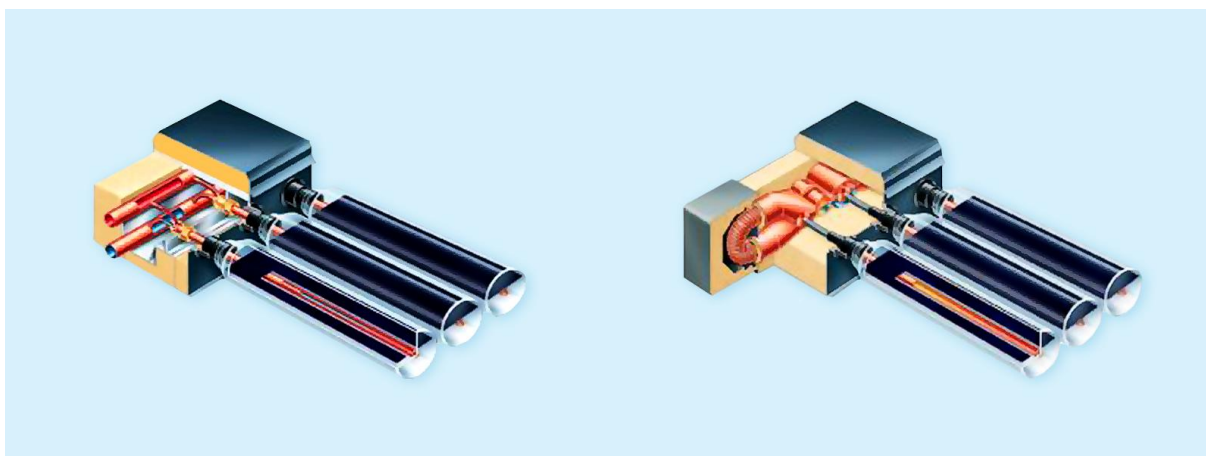
### 2.2.1.3 Vakuové kolektory

Vzduch mezi absorberem a předním krytem z krycího skla je příčinou tzv. konvektivních ztrát a permanentně přenáší teplo z absorberu na skleněný kryt, které potom dále není možno využít. Nahrazením vzduchu vákuem dosáhneme podstatného snížení tepelných ztrát, vznikajících pohybem vzduchu v kolektoru. Dle konstrukčního řešení rozdělujeme vakuové kolektory na vakuové trubicové kolektory a ploché vakuové kolektory.

#### Trubicové vakuové kolektory

Jsou kolektory s nejvyšší účinností při vysokých teplotách pracovní kapaliny (nad 100 °C) především proto, že v dokonale uzavřené skleněné trubici se dá vyrobit vysoké vakuum, čímž jsou téměř eliminované tepelné ztráty konvekcí do okolí. V každé trubici je integrován absorber a všechny trubice jsou vyústěny do společného sběrného potrubí. Tyto skleněné trubice díky svému tvaru lépe odolávají vnějšímu tlaku vzduchu, proto nemusí být vyztuženy kovovými tyčemi. Vakuové trubicové kolektory jsou konstruovány jako přímoprůtočné nebo s tepelnými trubicemi. Tento typ kolektorů je vhodnější především pro otopné systémy oproti systémům pro ohřev teplé vody. Výhodou vakuových trubicových systémů ve srovnání s normálními plochými kolektory je výrazně vyšší energetický zisk, především v chladných obdobích a také menší požadovaná plocha systému. Nevýhodou jsou především vyšší pořizovací náklady.

- Přímoprůtočné – teplonosné médium prochází dvěma do sebe zapuštěnými trubicemi přímo ke spodní části skleněného pístu, odkud se vrací protiproudem a přitom odebírá teplo z vysoce selektivního absorberu. Další možností jsou trubice konstruované ve tvaru písmene U. Výhodou přímoprůtočného provedení je variabilita jejich umístění, protože kolektory mohou být umístěny i ve vodorovné poloze [8]
- Vakuové trubicové kolektory s tepelnými trubicemi (tzv. heat pipe) – ve skleněných trubicích jsou integrovány ploché absorberové pásy a uprostřed každého pásu je umístěna tepelná trubice. Tento typ pracuje na principu fázové přeměny teplonosného média, představující kapalinu s nízkou teplotou opařování (většinou na bázi metanolu). Teplo získané přeměnou na absorpční ploše způsobuje přeměnu kapaliny v plyn, který stoupá trubičkou absorberu do prostoru teplosměnné plochy ve sběrném potrubí. V tomto místě kondenzuje na kapalinu a tepelnou energii odevzdává prostřednictvím výměníku proudící vodě. Následně po zkondenzování protéká teplonosné médium v kapalném skupenství tepelnou trubicí dolů. Tento děj se cyklicky opakuje. Aby byl tento pohyb zajištěn, musí být tento typ kolektorů instalován s určitým sklonem. [1], [6]



Obr. 2 - 5: Přímoprůtočná konstrukce a konstrukce s tepelnými trubicemi [9]

### Ploché vakuové kolektory

Jsou jednou z nejmodernějších variant solárních kolektorů, které spojují výhody trubkových vakuových kolektorů (nízké tepelné ztráty konvekcí do okolí) a plochých zasklených kolektorů se selektivní vrstvou (vysoká účinnost při nižších pořizovacích nákladech). Samotné tělo kolektoru je provedeno jako vakuotěsné a odolné vůči působení tlaku. Uprostřed kolektoru je zavěšen absorpér, který je z přední strany zakryt tabulí solárního skla spojenou s vanou pomocí speciálního tepelného těsnění. Vzhledem k působení atmosférického tlaku na sklo, je využíván systém (většinou nerezových) pružných elementů, odolných vůči vysoké teplotě. Tento typ kolektorů je vakuován až po dokončení instalace. Nespornou výhodou je možnost obnovení vakua uvnitř kolektoru připojením na vývěvu přes přírubovou spojku uprostřed kolektoru. [1], [8]



Obr. 2 - 6: Plochý vakuový kolektor [10]

## 2.2.2 Solární systémy

Pro využití tepelné energie získané solárním kolektorem je potřeba odvést ohřáté teplotnosné médium k tepelnému spotřebiči pomocí celého systému prvků, zajišťujících především oběh média v systému, regulaci a akumulaci. Solární systémy lze dělit dle mnoha kritérií, ale zřejmě nejsledovanějším je rozdělení dle využití, které dělíme především na systémy pro ohřev teplé vody, pro podporu vytápění a systémy pro ohřev vody v bazénech (další dělení je rozebráno v následující podkapitole). V následujících podkapitolách jsou také rozebrány hlavní části solárních systémů a jednotlivé typy systémů použitelných v rodinných domech.

### 2.2.2.1 Rozdělení solárních systémů

V závislosti na jednotlivých konstrukčních řešeních jsou solární systémy rozdělovány následně:

Podle způsobu odvádění tepelné energie teplotnosným médiem:

- Pasivní systémy – ohřáté teplotnosné médium je odváděno bez použití pomocného technického zařízení a přívodu elektrické energie. Jedná se především o systémy s gravitačním oběhem média, využívající princip vzestupu teplé kapaliny. Proto je nutné mít umístěný zásobník na teplou vodu výše než kolektor.
- Aktivní systémy – jedná se o systémy s nuceným oběhem teplotnosného média s použitím oběhového čerpadla a dalších regulačních přístrojů

Podle typu solárního okruhu:

- Systémy s přímým oběhem – teplotonosné médium, které je ohříváno v kolektorech je následně odváděno přímo ke spotřebě.
- Systémy s nepřímým oběhem – teplotonosné médium, ohříváno v kolektorech odevzdává svou tepelnou energii přes tepelný výměník dalšímu teplotonosnému médiu, které je využíváno spotřebitelem

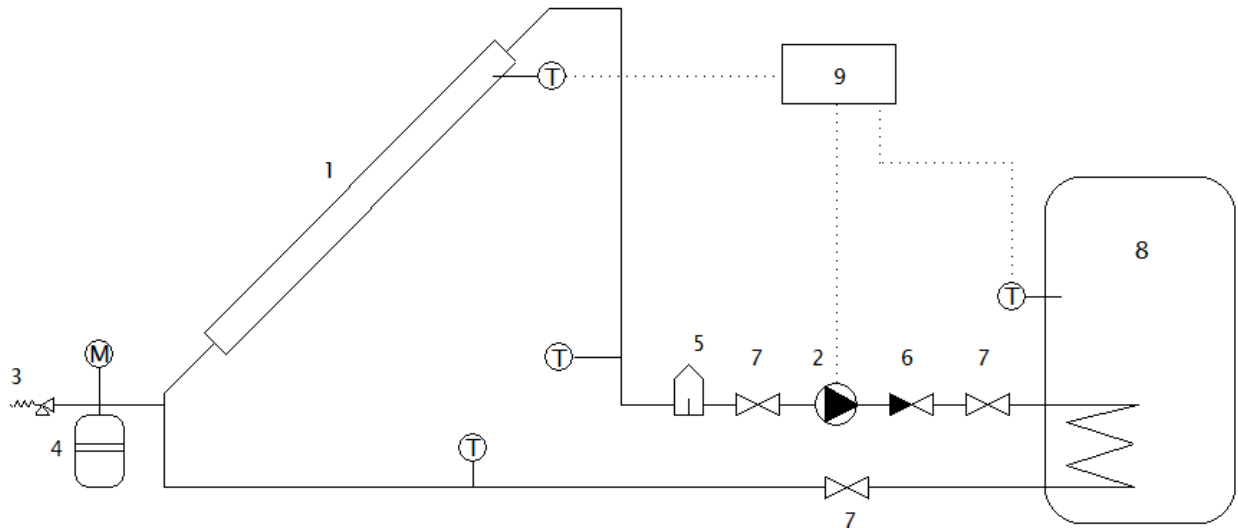
Podle použitého teplotonosného média:

- Systémy s kapalným teplotonosným médiem – jako médium je využívána voda nebo nemrznoucí směs. Výhodou vody je relativně vysoká hodnota tepelné kapacity a také postačují rozvodové trubky menších průměrů (těmto systémům budou věnované další kapitoly).
- Systémy využívající jako teplotonosné médium vzduch – jedná se o systémy používané v případě teplovzdušného vytápění, popř. větrání s rekuperací. Nevýhodou vzduchu oproti kapalným médiím je nižší tepelná kapacita a nutnost instalovat rozvodové trubky větších průměrů.

### 2.2.2.2 Části solárních systémů

Téměř všechny typy aktivních solárních systémů nezávisle na využití se obecně skládají z těchto základních prvků:

- Solární kolektor – zařízení určené k pohlcení slunečního záření a jeho přeměně na tepelnou energii, která je předávána teplotonosné látce protékající kolektorem. Pro dosažení potřebného tepelného výkonu jsou spojovány jednotlivé kolektory do větších systémů, tzv. kolektorových polí. U systému s vysokými teplotami na výstupu jsou kolektory řazeny sériově s nízkým průtokem (cca  $20 \text{ l.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  kolektorové plochy) oproti tomu standardní systémy mají kolektory řazeny paralelně a sérioparalelně a průtok se pohybuje v rozmezí 50-100  $\text{l.h}^{-1}\text{m}^{-2}$ . [1]
- Akumulační nádoba – slouží k uložení ohřáté teplotonosné látky, kvůli potřebě tepla i v době mimo sluneční svit, kdy kolektor nepracuje.
- Dodatečný zdroj energie – jeho úkolem je ohřívání teplé vody v době bez slunečního svitu nebo v případě, že tepelný výkon samotných kolektorů je nepostačující.
- Oběhové čerpadlo – u aktivních systémů zajišťuje proudění teplotonosného média v okruhu
- Výměník – u systémů s nepřímým oběhem je využíván k předání tepelné energie teplotonosné látky ohřívané v kolektoru teplotonosné látce v sekundárním okruhu tj. okruhu s TUV popř. topnému systému. Výměník bývá nejčastěji proveden jako spirála umístěna v akumulární nádobě, nebo také jako deskový, popř. trubkový.
- Regulační systém – zajišťuje řízení oběhu v celém systému, aby v době ozáření kolektoru sluncem byla ohřívána látka odváděna do akumulární nádoby. Naopak v době mimo sluneční svit zamezuje vyhřívání kolektoru teplem z akumulární nádoby. Také v případě potřeby spíná dodatečný zdroj energie.
- Pomocná zařízení – do této skupiny řadíme další nezbytné části systému pro provoz, jako měřicí čidla teplot, tlaku, průtoku, dále pojistné ventily, zpětná klapka, uzavírací armatury, expanzní nádoba a potrubí s tepelnou izolací.



Obr. 2 - 7: Schéma zapojení primárního okruhu [1]

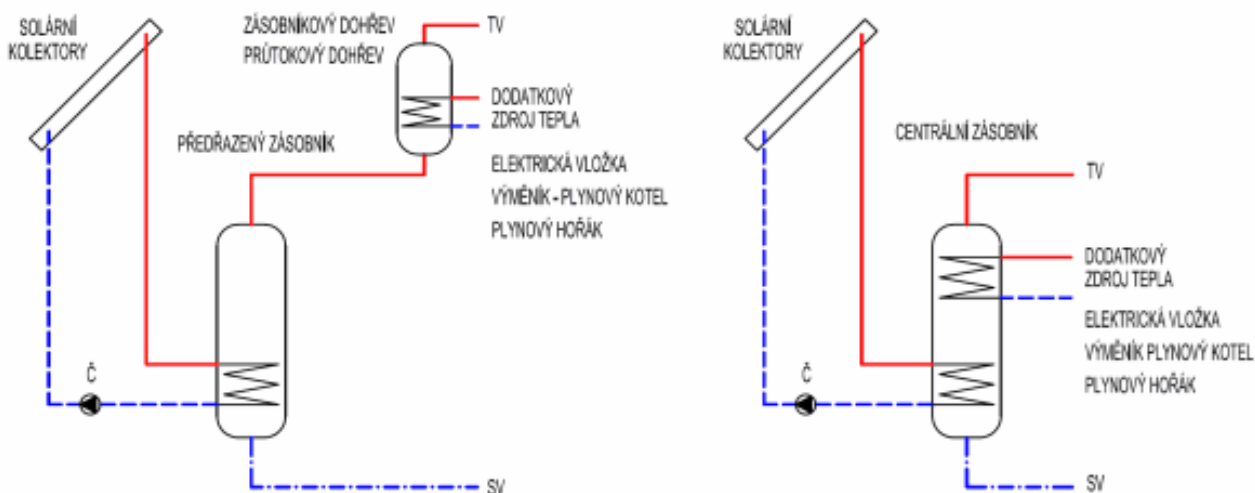
Solární kolektor (1), oběhové čerpadlo (2), pojistný ventil (3), expanzní nádoba (4), odlučovač plynů (5), zpětná klapka (6), uzavírací armatury (7), akumulční nádoba (8), automatický regulátor (9), teplotní čidla (T)

### 2.2.2.3 Systémy pro ohřev teplé vody

Možnost využití sluneční energie pro ohřívání (popř. přehřev) teplé vody je výhodné vzhledem k přibližně celoročně konstantní spotřebě TUV. Proto mají tyto typy solárních systémů dobrou využitelnost, jsou známé a veřejností hodnocené jako smysluplné opatření. Tyto systémy mohou být konstruovány jako gravitační (pasivní) systémy nebo mnohem častěji jako systémy s nuceným oběhem. Vzhledem k požadavku zajištění teplé vody i při výrazně nízkých teplotách okolí je z důvodu nebezpečí zamrznutí vody v kolektoru využívána nemrznoucí směs. Vzhledem k tomu, že tyto nemrznoucí směsi jsou zdraví škodlivé, je v systému zařazen tepelný výměník rozdělený na solární oběh a vodní oběh a který odevzdává získané teplo tepelnému zásobníku. Zásobník je dimenzován tak, aby pokryl odběr teplé vody i po tři nepříznivé dny (tj. s min. slunečním svitem), aniž by to představovalo velký tepelný záběh pro solární kolektory. Tyto solární systémy používané pro RD jsou obvykle řešeny jako průmyslově vyráběné komplety a to ve dvou konstrukčních provedeních:

- systém s přehřívacím solárním zásobníkem – solární zásobník je předřazen konvenčnímu systému ohřevu teplé vody
- systémy s bivalentním solárním zásobníkem – solární zásobník má v sobě vestavěn dodatečný zdroj tepla (nejčastěji se jedná o elektrickou vložku nebo plynový hořák) [11], [1]





Obr. 2 - 8: Schéma solární přípravy TUV pro RD: vlevo systém s předehřívacím solárním zásobníkem, vpravo systém s bivalentním solárním zásobníkem [11]

#### 2.2.2.4 Systémy pro podporu vytápění

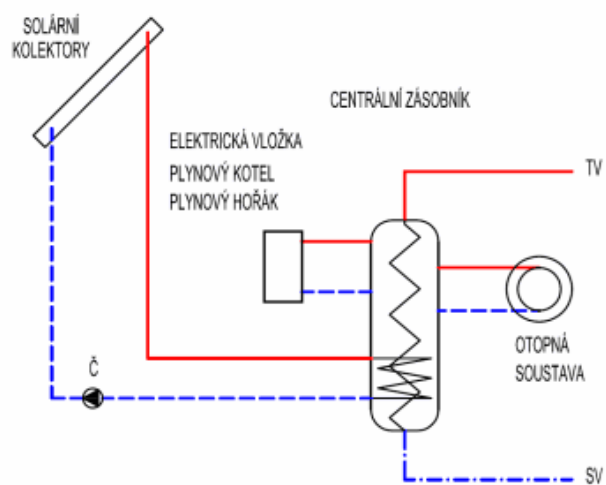
Vzhledem k rostoucím cenám za energii využitou pro vytápění a také klesající potřebě tepla k vytápění budov (především u nízkoenergetických a pasivních domů), nalézají využití především kombinované solární systémy pro podporu vytápění a ohřev teplé vody. Tyto systémy napojené na otopnou soustavu jsou schopny pokrýt v jarních a podzimních obdobích potřebu tepla z větší části slunečním zářením. Naopak v zimě výkon kolektorů nestačí na zajištění celé spotřeby tepla, přesto je v zásadě možné pokrýt spotřebu tepla ze slunečního záření. K tomu by však byl zapotřebí předimenzovaný kolektor, nebo obrovský zásobník, který by akumuloval teplo získané v létě. Toto provedení by mnohonásobně zvýšilo náklady na celý systém, proto se především z ekonomických důvodů instalují zásobníky jen na pokrytí určité části (obvykle 15 – 35 %) roční potřeby tepla pro vytápění a zbývající část potřeby pokrývá další tepelný zdroj (obvykle plynový kotel, topný kotel, elektrický kotel). Z požadavku solárního pokrytí se vychází při návrhu celého systému. [6], [12]

Pro možnost efektivního využití solárních systémů pro podporu vytápění by měly být splněny základní předpoklady: [12]

- dobrá tepelná izolace domu – nízkoenergetický nebo pasivní standart domu
- nízkoteplotní otopná soustava – velkoplošné sálavé vytápění, vhodná otopná tělesa
- vhodná návaznost na další zdroje tepla, technologie použité v budově a regulaci
- sklon kolektorů cca 45 – 90° vzhledem k vodorovné rovině a jižní orientace bez stínění
- možnost využití letních přebytků solárního systému – ohřívání vody v bazéně, sušení

Vzhledem k faktu, že v otopném systému není zpravidla pitná voda, je u systému pro podporu vytápění a ohřev TUV zapotřebí dvou oddělených zásobníků. V závislosti na uspořádání zásobníků jsou rozlišovány systémy:

- se dvěma solárními zásobníky – zásobníky pro topnou vodu a TUV jsou samostatné
- s integrovaným solárním zásobníkem tepla – jedná se o konstrukci, ve které je uvnitř zásobníku pro topnou vodu umístěn zásobník pro teplou vodu, která je ohřívána přes vestavěný průtočný výměník



Obr. 2 - 9: Schéma kombinovaného solárního systému s integrovaným solárním zásobníkem tepla [12]

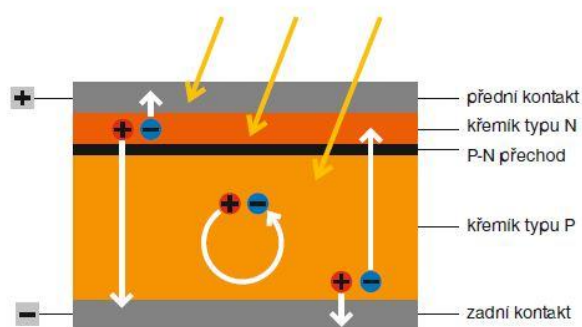


## 2.3 Výroba elektrické energie ze slunečního záření

V roce 1839 A. E. Becquerel zjistil při manipulaci se zinkovými a platinovými elektrodami přírůstek elektrického napětí, když elektrody vystavil světlu. Následně se podařilo tento dosud neznámý jev prokázat u polovodiče – selenu. Roku 1905 byl Albertem Einsteinem tento tzv. fotoelektrický jev vyložen, za což dostal v roce 1922 Nobelovou cenu za fyziku. Samotný jev je znám vnější – fotoemisi a vnitřní, který má dvě formy: fotovodivost a fotovoltaický jev. K samotné výrobě elektrické energie využitím slunečního záření je využíván fotovoltaický jev, který probíhá uvnitř fotovoltaických (FV) článků, které jsou schopny přeměňovat energii světelného záření přímo na elektrický proud. [1]

### 2.3.1 Fotovoltaický článek

Základním stavebním prvkem fotovoltaických systémů je fotovoltaický článek. Samotný článek je velkoplošný polovodičový prvek na bázi křemíku s alespoň jedním PN přechodem, který je schopen přeměňovat přímo sluneční záření na elektrický proud. PN přechod je tvořen dvěma vrstvami, tj. vrstvou typu p, obsahující příměs (např. bór, hliník), díky které chybí v krystalové mřížce jeden valenční elektron a druhou vrstvou typu n s přebývajícím valenčním atomem (fosfor, arzén). Na rozhraní těchto dvou vrstev vzniká elektrické pole vyšší intenzity. Dopadají-li fotony na fotovoltaický článek, dochází ke generování elektricky nabitých částic tzv. páru elektron – díra. Některé elektrony a díry jsou následně separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Důsledkem rozdělení náboje je vznik napěťového rozdílu mezi kladnou a zápornou elektrodou článku. V případě, že je mezi oba kontakty připojena zátěž, protéká potom obvodem stejnosměrný elektrický proud, jenž je přímo úměrný ploše solárních článků a intenzitě slunečního záření. [1], [6]

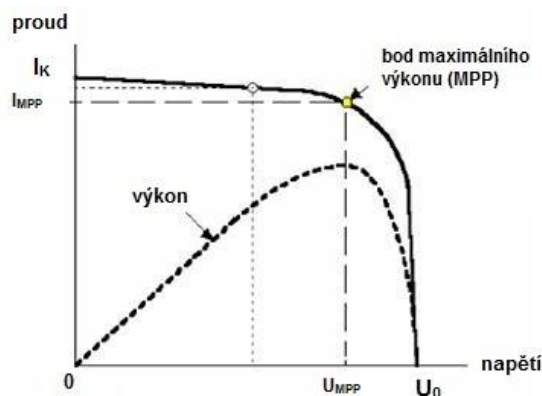


Obr. 2 - 10: Princip fotovoltaického článku [13]

V-A charakteristika fotovoltaického (viz. obr. 2-12) článku udává závislost výstupního proudu na napětí článku. Hodnotami napětí a proudu je stanoven výkon článku. Při dané hodnotě napětí je fotovoltaický článek schopen dodávat nejvyšší možnou hodnotu výkonu (MPP – Maximum Power Point). Pro maximální využití možností článku je proto vhodné jej provozovat v okolí bodu MPP.

Celková energetická účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii se u současně vyráběných FV článků pohybuje mezi 12 až 20 %. U experimentálních článků dosahuje

přes 40%. Celková průměrná využitelnost solárních systémů s ohledem na použité technologie a pracovní podmínky se pohybuje mezi 7 až 15 %. V současné době jsou nejrozšířenější FV články vyrobené z krystalického křemíku ve formě monokrystalu nebo polykrystalu (až 88 %). Své praktické uplatnění mají i tenkovrstvé FV články na bázi amorfního křemíku. V budoucnosti se počítá mimo jiné i s články na bázi organickým materiálu nebo fullerenu. V následujících podkapitolách jsou stručně shrnuty vlastnosti nejpoužívanějších typů FV článků.



Obr. 2 - 11: V-A charakteristika FV článku a MPP [14]

Vzhledem k tomu, že jeden fotovoltaický článek je schopen dodávat při nízkém napětí (500mV) nízké hodnoty výkonů (přibližně 1,2 až 1,4 W) je nutné propojení několika jednotlivých článků do větších jednotek se společným zapouzdřením tzv. panelů (modulů). Stejně solární články mohou být zapojovány sériově, takže na výstupu se jejich výstupní napětí sčítá a výstupní proud zůstává konstantní odpovídající proudu jednoho článku. Také mohou být zapojeny paralelně, kdy naopak napětí zůstává konstantní a výstupní proudy se sčítají. V praxi jsou u solárních panelů jednotlivé články zapojovány sérioparalelně, abychom dostali na výstupu potřebné hodnoty výkonů. Výkon solárního článku je udáván v jednotkách Wp, definovaných jako výkon při kolmém dopadu záření o energetické hustotě  $1000\text{W/m}^2$  a teplotě článku  $25^\circ\text{C}$ .

### 2.3.1.1 Monokrystalické články

Jsou vyráběny z monokrystalického křemíku, tj. jednotlivé krystaly křemíku v krystalické mřížce jsou orientovány do jednoho směru s minimálním podílem příměsí a nečistot. Dosahuje čistoty až 99,99999 %. U monokrystalických článků je dosahovaná vysoká účinnost, v praxi se pohybující mezi 15 – 20 %. Tyto články také nejpomalejší degradují oproti jiným typům. Mezi nevýhody patří především vyšší pořizovací náklady a energetická náročnost výroby. Oproti polykrystalickým článkům lépe absorbují přímé sluneční záření, a proto jsou vhodnější pro systémy s natáčením. [15]

### 2.3.1.2 Polykrystalické články

Polykrystalické články využívají polykrystalického křemíku, u kterého jsou krystaly v krystalové mřížce orientovány náhodně a také obsahují větší podíl příměsí a nečistot. Právě proto dosahují nižší účinnosti, pohybující se kolem 15 %. Tento fakt je kompenzován nižší pořizovací cenou a lepším poměrem cena/výkon oproti monokrystalickým článkům, a proto jsou také nejvíce zastoupeny na současném trhu. Další výhodou, především v našich klimatických

poměrech, je lepší absorpce difuzního záření, tj. rozptýleného záření na částicích v atmosféře, která následně dopadá na zemský povrch v různých směrech. V případě omezené plochy představují polykrystalické články optimální volbu.

### 2.3.1.3 Tenkovrstvé články s amorfním křemíkem

Krystalické solární články využívají poměrně nákladný polovodičový materiál, který je snaha nahradit značně úspornější technologií tenkých vrstev. Výrobní postup využívá napařování tenké vrstvy křemíku (řádově mikrometrů) s vhodnou dotací na nosnou plochu skla nebo polymeru. Účinnost u komerčně dostupných tenkovrstvých článků se pohybuje mnohem níže než u polykrystalických článků tj. 6 – 9 %. Díky této nižší účinnosti je nutné pro dosažení téhož výkonu instalovat daleko větší plochu modulu, než je tomu u krystalických článků. Výhodami jsou především vyšší absorpce světla, velké napětí naprázdno, nižší spotřeba materiálu a pořizovací cena, díky velké automatizaci procesu výroby. [15]

Tab. 2 - 1: Orientační srovnání parametrů jednotlivých typů fotovoltaických článků [6]

materiál článku	maximální laboratorní účinnost	maximální provozní účinnost sériového článku	typická modulární účinnost článku	plocha potřebná na 1 kW
	%	%	%	m <sup>2</sup>
monokrystalický křemík	24,7	21,5	15	6,7
polykrystalický křemík	18,5	15	14	7,2
amorfni křemík	12,7	8	6	16,7

### 2.3.2 Fotovoltaické systémy a jejich součásti

Vlastní FV panely pro svůj provoz potřebují celou soustavu prvků spojených do řetězce tvořící systém, na jehož konci jsou spotřebiče. Tento systém je tvořen mimo FV panely především regulátory, měniči, akumulátory, ochrannými a jistícími prvky. V závislosti připojení systému na veřejnou rozvodnou síť rozdělujeme fotovoltaické systémy na 2 základní aplikační typy a to na autonomní, tzv. ostrovní systémy (grid – off) a na síťové systémy (grid – on).

#### 2.3.2.1 Základní komponenty fotovoltaického systému

- Měnič napětí (střídač) – solární články generují stejnosměrný proud a napětí, které musí být přetransformováno na střídavé o takové velikosti (většinou 230 V, 50 Hz), aby vyhovovalo požadavku využití pro spotřebiče, pracující pouze se střídavým proudem. Další funkcí měniče je monitorování a regulace napájení sítě. Měnič má také ochrannou funkci, v případě poruchy v přenosové soustavě automaticky odpojuje solární systém od sítě. Měniče stejnosměrného napětí rozdělujeme na přístroje pracující v autonomním systému a ty které jsou určeny k tomu, aby solární systém mohl být připojen na rozvodnou síť. Měniče rozdělujeme dle tvaru výstupního napětí na měniče s obdélníkovým tvarem napětí, použitelným pro domácí spotřebiče, střídavé motory, pumpy apod. Druhým typem jsou měniče řízené frekvencí (sítě nebo krystalem), které jsou vhodné pro přístroje náročnější na průběh napětí jako např. měřicí přístroje a zesilovače. [1]
- Akumulátor – slouží především k uchovávání elektrické energie a jejího výdeje v případě potřeby. U fotovoltaických systémů nabývá smysl akumulace energie, především u

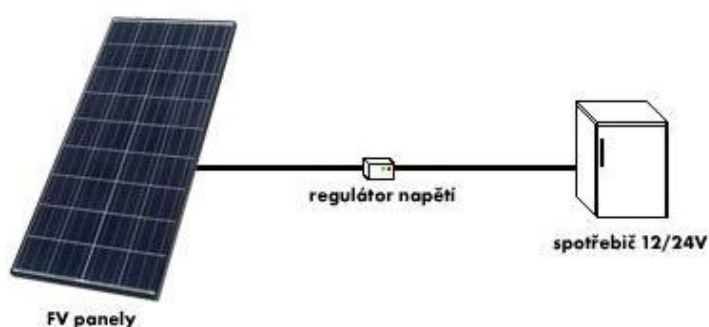
autonomních systémů, kdy vzniká potřeba elektrická energie i v době bez slunečního svitu. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorové baterie je zajištěno regulátorem nabíjení. Akumulátor má mít především bezeztrátový příjem proudu při daném nabíjecím napětí a schopnost rychlého znovunabíjení. Také je požadována dlouhodobá stálost v cyklickém provozu, závisící na hloubce vybíjení a v neposlední řadě na náročnosti provozu. Pro dosažení potřebných proudových a napěťových hodnot jsou akumulátory řazeny sériově, paralelně nebo sérioparalelně. [16], [1]

- Regulátor dobíjení – se zapojuje mezi FV panely a akumulátory a je využit jako ochranný prvek, vzhledem k možnosti poškození nebo zničení akumulátoru v důsledku nedobíjení nebo přebíjení. Regulátor měří stupeň nabití a v případě dobíjení panely odpojuje nebo propojí nakrátko. Naopak při poklesu napětí na akumulátorech naopak panely znovu připojí k dobíjení. Také zaručuje požadovaný průběh procesu dobíjení nebo připojení pomocného generátoru, který může přispívat k nabíjení baterie (viz. Autonomní systémy – hybridní). Regulátor je volen podle pracovního napětí v systému, proudového výkonu FV panelů a nakonec podle celkového příkonu elektrospotřebičů.

### 2.3.2.2 Autonomní systémy

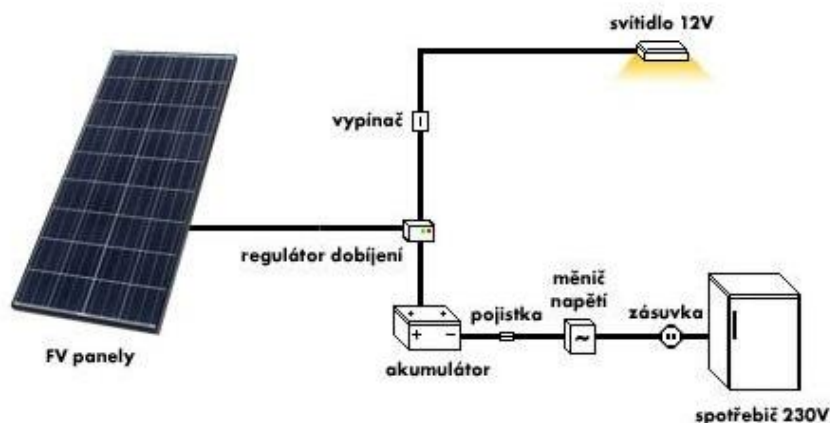
Mluvíme-li o autonomních solárních systémech, jedná se především o malé aplikace, využití na odlehlých místech, kde není dostupná rozvodná síť nebo vybudování přípojky není možné (jachty, přívěsy) resp. náklady na vybudování přípojky jsou značně nákladné (počítá se s vzdáleností 500m). Existuje více variant autonomních systémů, které rozlišujeme na systémy s přímým napájením, systémy s akumulací elektrické energie a hybridní autonomní systémy. [3]

- Autonomní systém s přímým napájením – se využívají v aplikacích, ve kterých je připojený elektrický spotřebič funkční jenom po dobu dostatečné sluneční intenzity. V podstatě se jedná o přímé připojení FV panelu přes regulátor napětí k spotřebiči. Tento systém se používá například pro napájení čerpadla pro závlahu, napájení ventilátorů nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů (mobilní telefony, svítilny atd.) [16]



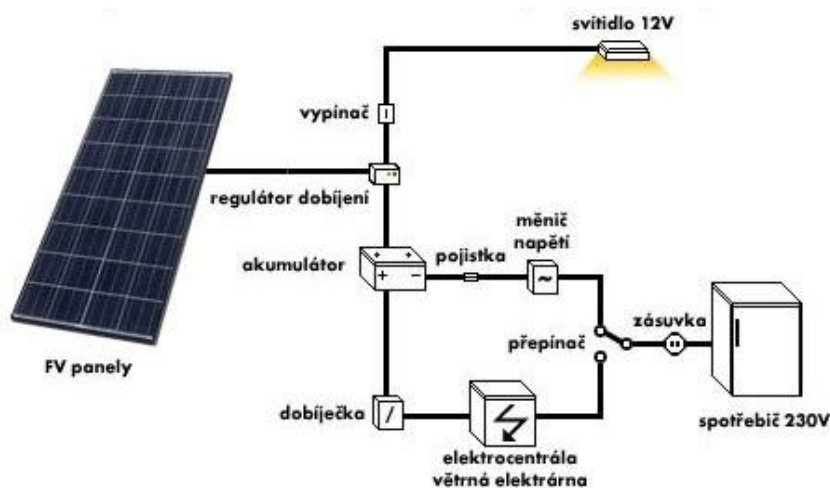
Obr. 2 - 12: Schéma autonomního systému s přímým napájením [17]

- Autonomní systémy s akumulací energie – se používají tam, kde je požadovaná dodávka elektřiny i v době bez slunečního záření. Z toho důvodu jsou tyto systémy akumulátorové baterie. Optimální proces nabíjení a vybíjení baterie je zajištěno regulátorem dobíjení. Ostrovní systém obvykle napájí spotřebiče stejnosměrným proudem (napětí obvykle bývá 12 nebo 24 V) nebo přes měnič napětí jsou napájené běžné síťové spotřebiče. [6]



Obr. 2 - 13: Schéma autonomního systému s akumulací energie [17]

- Hybridní autonomní systémy – jsou používány tam, kde je požadován celoroční provoz a kde je občas používáno zařízení s vysokým požadavkem na příkon. V zimních měsících, vzhledem k podstatně nižšímu množství intenzity dopadajícího slunečního záření, je možno z FV zdroje získat podstatně menší množství elektrické energie než v létě. Proto je nutné tento systém dimenzovat i na zimní provoz, což představuje zvýšení instalovaného výkonu systému a podstatné navýšení pořizovacích nákladů. Výhodnější alternativou je rozšíření systému doplňkovým zdrojem elektřiny, který pokryje potřebu elektrické energie při nedostatečném slunečním svitu a při provozu zařízení s vysokým příkonem. Takovým systémem je nejčastěji elektrocentrála, kogenerační jednotka nebo větrná elektrárna. Jedná se o nepoužívanější systémy pro napájení budov s celoročním provozem, bez přípojky k rozvodné síti [6]

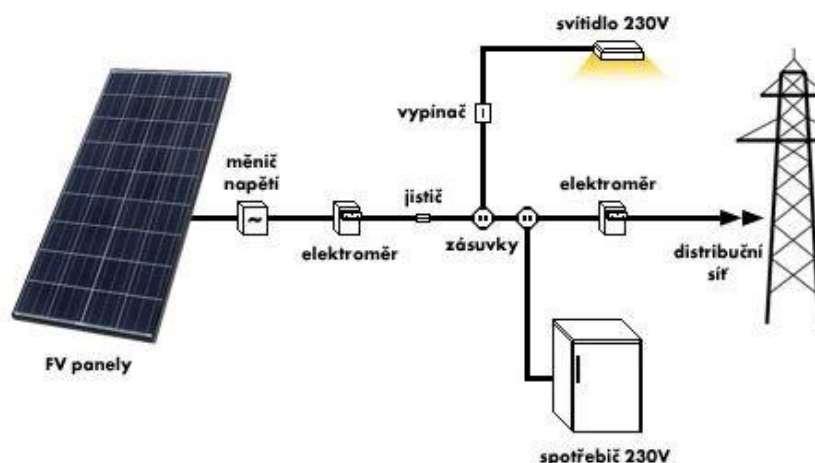


Obr. 2 - 14: Schéma hybridního autonomního systému [17]

### 2.3.2.3 Síťové systémy

Jedná se o tzv. síťové fotovoltaické systémy, které jsou napojené na distribuční síť a dodávají do ní vyrobenou elektrickou energii. Předpokladem dodávky do sítě je střídavý průběh napětí, který zajišťuje měnič napětí. Síťové FV systémy jsou koncipovány jako systémy pro vlastní spotřebu v místě výroby (RD, průmyslový objekt) a případné přebytky jsou dodávány do distribuční sítě nebo jako systémy, které vyrobenou energii výhradně dodávají do sítě.

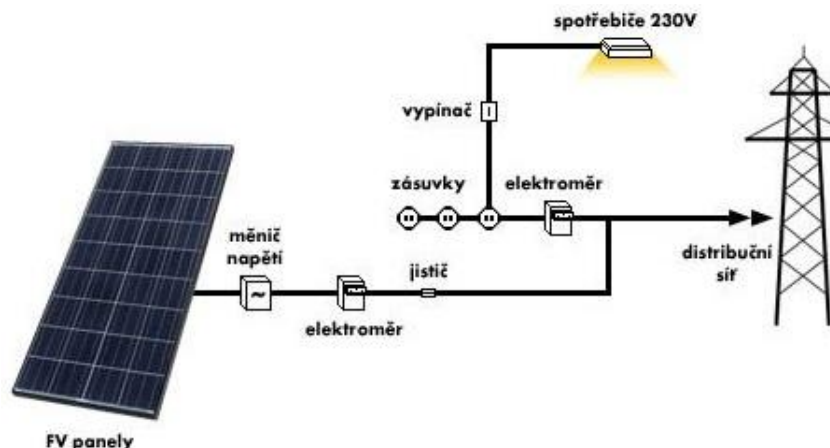
- Systém vlastní spotřeby a prodeje přebytku – FV panely jsou připojeny přes napěťový měnič na speciální elektroměr pro odpočet vyrobené elektrické energie fotovoltaikou. Celý tento okruh je přes samostatný jistič a přepětovou ochranu vyveden do rozvaděče objektu. Solární systém je připojený před hlavním elektroměrem (z pohledu uživatele), proto je tedy možné dodávat elektrickou energii spotřebičům v objektu nebo ji v případě přebytků přes hlavní čtyřkvadrantový dodávat do sítě. [16]



Obr. 2 - 15: Schéma síťového systému pro vlastní spotřebu a prodeje přebytků [17]

- Systémy přímo připojeny k síti – tyto fotovoltaické systémy dodávají veškerou získanou elektrickou energii do distribuční sítě. FV panely jsou připojeny k napěťovému měniči a elektroměru pro odpočet vyrobené elektrické energie. Systém je, navržený tak, aby pracoval v celém rozsahu výstupního napětí, které poskytují FV panely. Tento systém je následně připojen přes jistič a přepětovou ochranu za hlavní elektroměr objektu přímo na vedení. Tyto systémy mohou být realizovány i jako tzv. solární parky o výkonech řádově stovek kW až MW, které pro svůj provoz vyžadují dostatečně kapacitní elektrickou přípojku pro vedení 22kV nebo 110kV. Pro získání hodnoty vysokého napětí dodávaného do sítě se používají zvyšovací transformátory zapojeny za měnič napětí. [3], [16]





Obr. 2 - 16: Schéma síťového systému s přímým připojením do sítě [17]

### 2.3.3 Legislativa a současná situace ohledně FV systémů

Fotovoltaické systémy jsou řazeny podobně jako malé vodní elektrárny a větrné elektrárny mezi obnovitelné zdroje elektrické energie. Základním předpisem, určující legislativní rámec a který způsobil prudký rozvoj fotovoltaiky, je Zákon č.180/2005 Sb. o podpoře využívání obnovitelných zdrojů. Následně bylo vydáno několik vyhlášek upravující některé ustanovení zákona. Samotný provoz fotovoltaického systému napojeného na distribuční síť je ze zákonného hlediska považováno za podnikání podle energetického zákona (č 91/2005Sb.) a každý provozovatel je považován za osobu samostatně výdělečně činnou, proto musí mít v tomto případě licenci od Energetického regulačního úřadu.

Samotný zákon definuje dvě formy podpory výkupu elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie (OZE) a to zelený bonus a přímý prodej do sítě za výkupní cenu. Výrobce může jednou ročně změnit formu podpory. Výše podpory podléhá státní regulaci a je každoročně stanovena v Cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu.

- Zelený bonus – je definován jako finanční částka hrazená provozovatelem distribuční soustavy výrobcí elektřiny z OZE, zohledňující snížení poškození životního prostředí v porovnání se spalováním fosilních paliv. Tato forma podpory má nastavenou nižší hodnotu dotace, avšak ta je kompenzována možností spotřeby elektřiny přímo v místě výroby a tím vznik úspor vůči nákupu. Proto je zelený bonus vhodný všude tam, kde je výrobce aspoň z části schopen spotřebovat vyrobenou elektrickou energii (např. domácnost). Výhodou je také napojení na stávající elektroinstalaci objektu. V tomto případě je ale výrobce nucen si samostatně najít svého odběratele elektrické energie a s ním sjednat cenu za výkup přebytků. Garance zelených bonusů je jeden rok a to z důvodu, že jejich hodnota je závislá na ceně silové elektřiny [18]
- Výkupní cena – je forma podpory, ve které je veškerá vyrobená elektrická energie dodávaná přímo do distribuční sítě, za kterou je inkasovaná daná výše podpory. Samotný distributor elektrické energie je ze zákona povinen vykoupit celý objem vyrobené elektřiny z FV systému. Hodnota výkupní ceny je vyšší než u zeleného bonusu, ale naopak je zde stále

nutnost platit za veškerou odebranou elektrickou energii. Garance výkupní ceny je po celou předpokládanou životnost výroby, pro FV systému uvažováno 20 let. [18]

Tab. 2 - 2: Výkupní ceny pro typ podpory s uvedením v roce 2012 [19]

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	6160	5080
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	7650	6570
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW do 100 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	6020	4940
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 100 kW a uvedený do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	5610	4530
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2010 do 31. prosince 2010	12750	11670
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW a uvedený do provozu od 1. ledna 2010 do 31. prosince 2010	12650	11570
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2009 do 31. prosince 2009	13690	12610

Na základě posouzení vlivu OZE na elektrizační soustavu provozovatelem přenosové soustavy ČEPS, a.s byla k 1.1.2012 uvolněna rezerva výkonu 65 MW pro připojení zdrojů s proměnlivou výrobou z obnovitelných zdrojů (u fotovoltaiky jsou uvažovány systémy s výkonem do 30 kW). Avšak již k 13.1.2012 oznamuje distributor E.ON Distribuce, a.s., že byla překročena hodnota limitu připojitelného výkonu do odběrného místa distributora. Nové žádosti o připojení FVE a VTE došlé po tomto datu mají být individuálně posuzovány. [20]

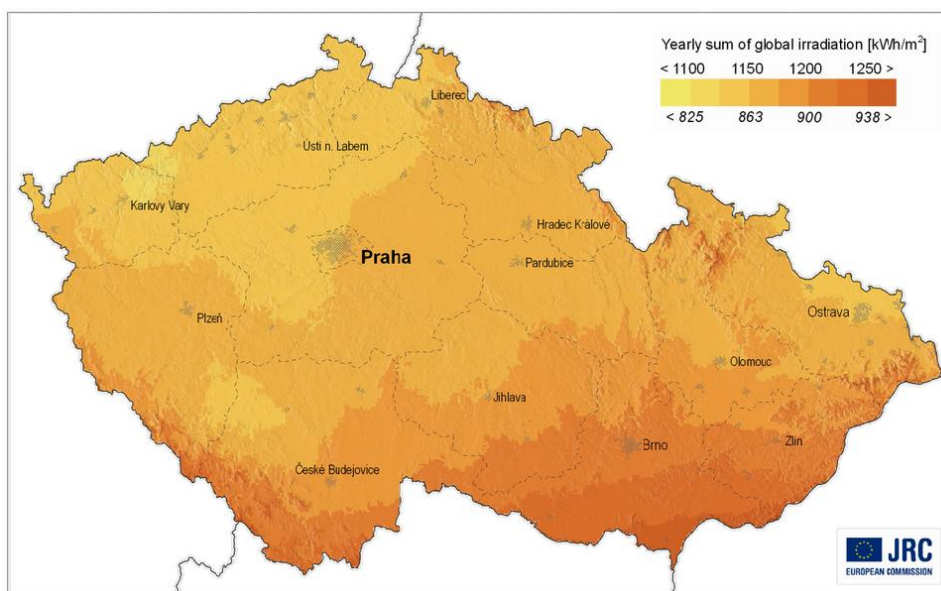
Nově zavedenými změnami v provozování FVE je od 1.1.2011 zrušení 5letého osvobození od daní z příjmu a změna způsobu odpisování na rovnoměrné po dobu 20 let.



## 2.4 Dostupnost solární energie

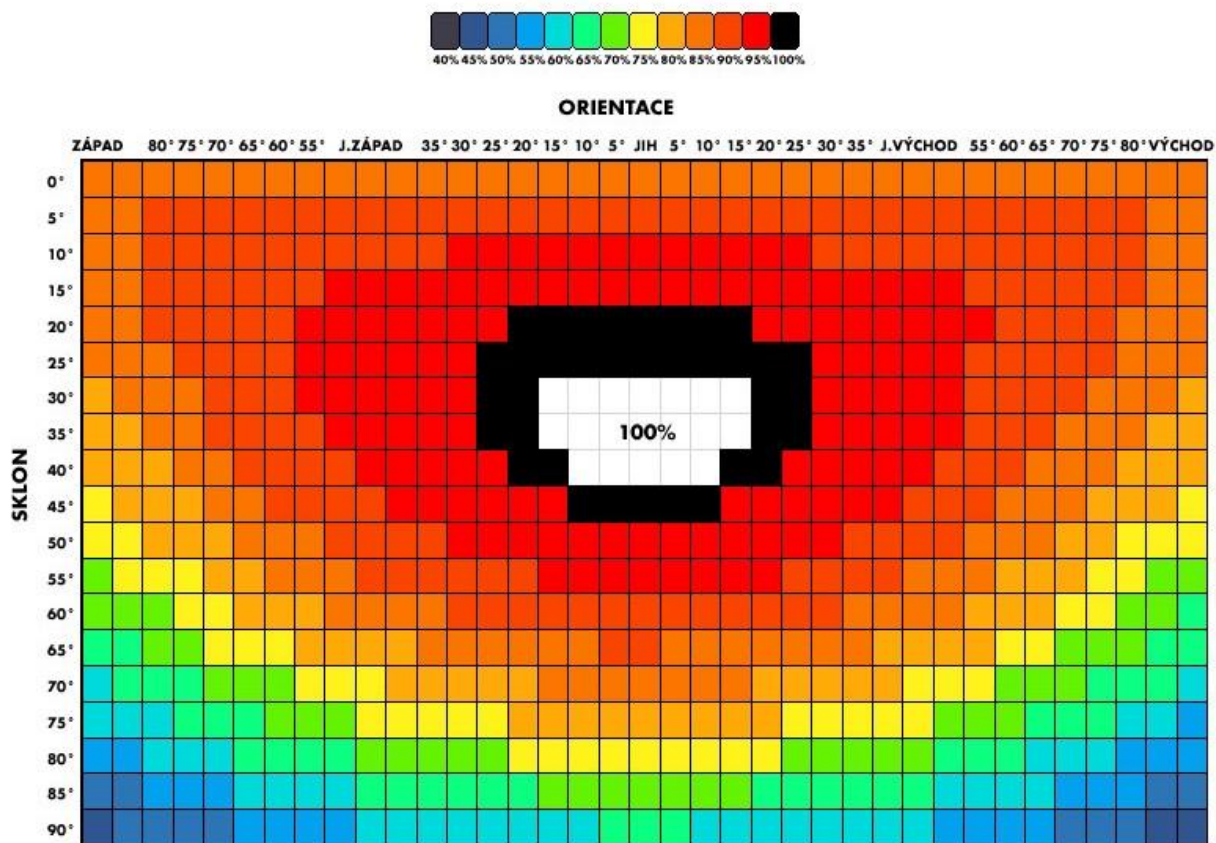
Každý typ solárního systému ať již fotovoltaický nebo systém se solárními kolektory pracuje nejlépe, pokud je navržen pro konkrétní podmínky. Celkové roční množství dopadající sluneční energie obecně ovlivňuje zejména zeměpisná poloha, orientace a sklon systému vzhledem k slunci, celková doba slunečního svitu, zastínění systému a v neposlední řadě závisí na znečištění atmosféry.

- **Poloha** – v závislosti na zeměpisné šířce a přírodních podmínkách závisí především počet hodin slunečního svitu a intenzita slunečního záření. Tyto hodnoty lze považovat za jedny ze základních údajů pro výpočet energetické bilance systému a tím i návratnosti investice. V ČR existují relativně dobré podmínky pro využití solární energie. Téměř na celé území průměrně ročně dopadá min. 1000 kWh/m<sup>2</sup> a celková roční hodnota slunečního svitu se pohybuje od 1400 do 1700 hodin (nejvyšší hodnoty platí především pro oblast jižní Moravy), z čehož největší část (téměř 75 % připadá na letní období).



Obr. 2 - 17: Průměrné roční hodnoty slunečního svitu v ČR v kWh/m<sup>2</sup> [21]

- **Orientace** – je dalším ze zásadních kritérií pro optimální využití solárních systémů z důvodu značného podílu na energetickém zisku. Ideální je orientace směrem na jih, případně s mírným odklonem (až 45°). Vzhledem k maximu intenzity slunečního záření kolem 14. hodiny je výhodnější mírně jihozápadnější směr. V současné době jsou pro zvýšení účinnosti fotovoltaických systémů také zaváděny tzv. solární trackery, které pracují na principu otočného a naklápěcího systému a umožňují průběžné nastavování FV panelů v optimálním úhlu vůči měnící se poloze Slunce.
- **Sklon** – má značný efekt na výtěžku solárních systémů. U fotovoltaických systémů se považuje optimální sklon v rozmezí 30°-35° vzhledem k vodorovné rovině. Nejlepších celoročních zisků systémů pro ohřev vody je dosahován při sklonu 30°-55°. Optimální úhel sklonu kolektorů se v průběhu roku mění, a proto u zařízení pro podporu vytápění s potřebou dodávky energie v převážně otopném období je výhodnější volit strmější sklon až do 60°. Pro systémy s převážně letním provozem se volí nižší sklon kolem 30°.



Obr. 2 - 18: Závislost intenzity slunečního záření na orientaci a sklonu solárního systému [17].

## 2.5 Shrnutí výhod a nevýhod využití slunečního záření

### Výhody:

- Sluneční záření je zdarma
- Slunce lze považovat za nevyčerpatelný zdroj energie
- Při provozu nevznikají žádné emise nebo jiné škodlivé látky
- Nenáročná obsluha a snadná automatická elektronická regulace
- Zařízení mají vysokou provozní spolehlivost
- Minimální provozní náklady
- Životnost systému jako celku

### Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady systémů a relativně dlouhá doba návratnosti
- Značné kolísání intenzity slunečního záření v průběhu roku a výrazné poklesy v zimních obdobích
- Nízká účinnost přeměny (především u FV panelů) – vyšší nároky na plochu
- Nutnost náhradního zdroje energie
- Při instalaci nutný zásah do stávajícího objektu (např. úprava topné soustavy)
- Postupný pokles účinnosti systému
- Životnost některých součástí systémů (např. měnič napětí – cca 15 let)
- V současnosti zastavení státních dotačních programů „Zelená úsporám“ a nepřipojování nových FV systému, z důvodu naplnění limitu pro připojování FV systémů

### 3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ NÍZKOPOTENCIÁLNÍ ENERGIE

Využití nízkopotenciální energie řadíme mezi alternativní využití energie, protože v principu jde o dodávání tepla získaného odnímáním tepelné energie okolního prostředí (vzduch, země, voda). Tato energie vzniká jako důsledek dopadající sluneční energie a geotermální energie. Možnosti přímého využití této energie brání především její nízká teplota. Princip pro využití těchto zdrojů tepla o nízké teplotě pomocí tzv. tepelného čerpadla popsal v roce 1852 anglický fyzik W. T. Kelvin. Také dokázal, že tepelné čerpadlo spotřebuje k vytápění méně primární energie než vytápění přímé. [1]

#### 3.1 Tepelné čerpadlo a jeho princip

Tepelné čerpadlo je všeobecně chápáno jako stroj, který umožňuje odjímat tepelnou energii okolního prostředí o nižší teplotě a převádět ji na vyšší teplotní hladinu, kterou předává pro další využití. Prakticky dochází k tomu, že zdrojová látka je pomocí cirkulujícího chladiva ochlazená o určitou teplotu (např. půdu ochladíme z 10°C na 5°C), čímž je odebráno teplo, které je následně využito k ohřevu jiné látky na jiné teplotní úrovni (např. teplé vody z 40°C na 45°C). Tepelné čerpadlo sice přepravuje teplo z nižší teploty na vyšší, ale tento proces neprobíhá samovolně, ale až po přivedení určitého množství energie zvenčí do svého tepelného oběhu. Jedná se obvykle o elektrickou energii používanou pro pohon TČ. K hodnocení účinnosti tepelného čerpadla se používá tzv. topný faktor  $\varepsilon$  (viz. rovnice 3.1) vyjadřující poměr okamžitých hodnot energie dodané pro ohřev (tj. tepelného výkonu) k energii spotřebované (energie spotřebovaná pro pohon kompresoru, ventilátoru nebo čerpadla). [22], [1]

$$\varepsilon = \frac{Q_{TČ}}{P_{TČ}} \quad (-; \text{kW}, \text{kW}) \quad (3.1)$$

kde  $Q_{TČ}$  – topný výkon tepelného čerpadla

$P_{TČ}$  – elektrický příkon potřebný k provozu tepelného čerpadla

Hodnota topného faktoru během roku kolísá v závislosti na klimatických podmínkách. V běžných aplikacích se pohybuje v rozmezí 2,5 – 4. Vzhledem k tomu, že topný faktor je vztažen pouze k okamžitým hodnotám, je pro dlouhodobé zhodnocení systému zaveden roční provozní topný faktor (SPF), vyjadřující průměrné roční hodnoty (viz. tab. 3-1). Pro dosažení co nejvýhodnějšího provozu tepelného čerpadla tj. minimální spotřeby energie pro pohon a dosažení vysoké hodnoty topného faktoru jsou určující především tyto parametry:

- Teplota zdroje – má být dle možnosti co nejvyšší, nesmí však přesahovat maximální teplotu danou výrobcem TČ. S vyššími hodnotami teplot zdroje tepla dosahujeme vyšší hodnot topného faktoru. Také je důležité, aby zdroj měl dostatečnou vydatnost a ochlazení látky ve výparníku bylo přiměřené, aby nebyla teplota vypařování zbytečně nízká.
- Teplota výstupního média – čím nižší je teplota média na výstupu, tím menší je rozdíl teplot, které musí tepelné čerpadlo překonávat a s tím je spojena i nižší spotřeba elektrické energie. Kvůli tomuto faktu je výhodnější využití tepelného čerpadla v kombinaci s nízkoteplotním otopným systémem.

V závislosti na principu rozlišujeme tepelné čerpadla:

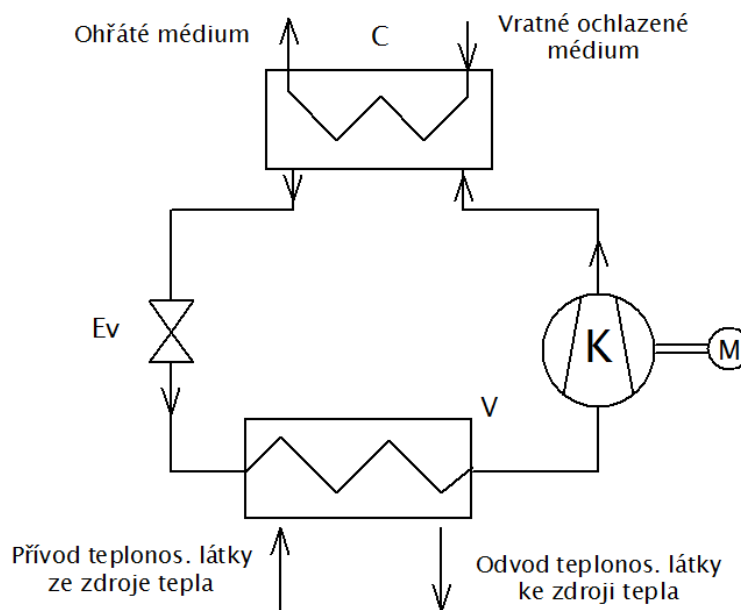
- kompresorová tepelná čerpadla
- absorpční tepelná čerpadla

- adsorpční tepelná čerpadla

Vzhledem k faktu, že kompresorové TČ jsou nejrozšířenější a nejdostupnější v aplikacích pro menší objekty jako např. rodinné domy a jsou využívány v kombinaci se všemi běžně dostupnými tepelnými zdroji, bude jim v této práci věnován podrobnější popis.

### 3.1.1 Kompresorové tepelné čerpadla

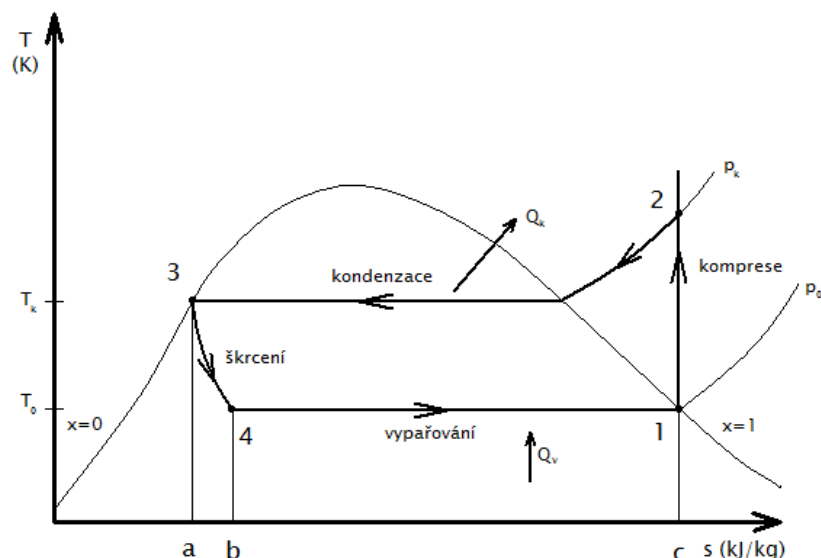
Princip činnosti kompresorového tepelného čerpadla je založen na dějích založených na změně skupenství v závislosti na tlaku pracovní látky. Ve výparníku je za nízkého tlaku odnímaná tepelná energie nízkopotenciálního zdroje pomocí chladiva. Tímto ohřátím kapalného chladiva dochází k varu a kapalně chladivo se ve výparníku postupně mění v páru. Tyto páry jsou odsávány a stlačovány kompresorem na kondenzační tlak, čímž také dochází ke zvýšení teploty. Tyto páry jsou následně odváděny do kondenzátoru, kde odevzdávají teplo ohříváné látce (např. voda v okruhu ústředního vytápění) a dochází k jejich ochlazení a změně skupenství na kapalně. Kapalně chladivo je po snížení tlaku v expanzním ventilu přiváděno zpět do výparníku, kde doplňuje vypařené chladivo. Celý tento cyklus se opakuje. [1], [6]



Obr. 3 - 1: Schéma kompresorového tepelného čerpadla [1]

kondenzátor (C), expanzní ventil (Ev), kompresor (K), motor pro pohon kompresoru (M), výparník (V) [1]

Cyklus přečerpávání tepla pomocí tepelného čerpadla lze znázornit pomocí tzv. obráceného (tj. levotočivého) Clausius-Rankinova cyklu. Chladivo se vypařuje za stálého tlaku (4 - 1) za přívodu tepla  $Q_0$  (plocha b - c - 1 - 4 - b), následně je kompresorem izoentropicky stlačeno (1 - 2) z tlaku  $p_0$  na tlak  $p_k$ . V kondenzátoru se izobaricky mění skupenství chladiva z plynného na kapalně (2 - 3), přičemž se uvolňuje teplo  $Q_k$  využitelné pro vytápění. Zkapalněné chladivo v expanzním ventilu (3 - 4) snižuje svůj tlak na výchozí hodnotu  $p_0$ .



Obr. 3 - 2: Obrácený Clausius-Rankinův cyklus [1]

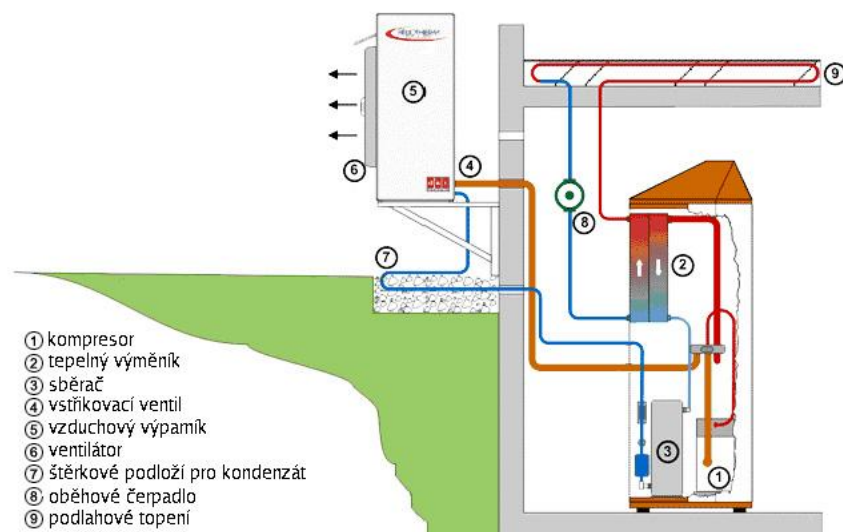
## 3.2 Možnosti aplikací tepelných čerpadel

Jak již bylo řečeno, tepelné čerpadla nacházejí využití především k ohřívání otopné vody a TUV, ale také mohou být využity k ohřevu vody v bazénu nebo teplovzdušnému vytápění. V opačném režimu provozu mohou TČ odebírat teplo z vnitřního prostředí, čímž dochází k jeho ochlazení. V současnosti jsou tepelné čerpadla vyráběné v různých konstrukčních provedeních lišících se především v nízkopotenciálním zdroji tepla a na použitém tepelném médiu na výstupu.

### 3.2.1 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Zdrojem tepla pro tento typ systému může být venkovní vzduch nebo oteplený odpadní vzduch, pomocí kterého ohříváme vodu na výstupu. Při navrhování tohoto typu TČ je nutné počítat s tím, že při poklesu teploty venkovního vzduchu jako tepelného zdroje stoupá spotřeba objektu a současně klesá tepelný výkon tepelného čerpadla. Aby systém nebyl zbytečně předimenzovaný a neúměrně nerostly pořizovací náklady, bývá do něj zapojen špičkový tepelný zdroj, který s vytápěním v období chladných dnů vypomůže. Jedná se o tzv. bivalentní zapojení TČ, které je podrobněji popsáno v kapitole 3.3. Výhodou je, že se jedná o systémy se snadnou instalací, tj. nejsou vyžadovány žádné nákladné zemní práce, a tím je také investice na jejich instalaci nižší než u jiných systémů se srovnatelnými parametry. Také pro instalaci nejsou nutné žádná povolení. Samotné tepelné čerpadlo je možné a také výhodné mít umístěné poblíž vytápěného objektu, v němž je umístěná část jeho příslušenství. Nevýhodou je, že v době největší potřeby tepla (mrazy) TČ pracuje s poměrně nízkými hodnotami topného faktoru a v porovnání s jinými zdroji má i výrazně větší spotřebu elektrické energie. Tento typ TČ má také nižší životnost, především venkovní jednotka s pomaloběžným ventilátorem, který může být také hlučná. U velmi chladného vnějšího ovzduší může docházet ke tvorbě kondenzátu na výparníku, který při vyšších teplotách vzduchu volně odtéká. Při nižších teplotách může docházet k namrzávání kondenzátu na výparníku, proto je nutné tuto námrazu periodicky odstraňovat (odtávat), jinak by došlo k selhání funkce výparníku potažmo celého TČ. [3], [1]





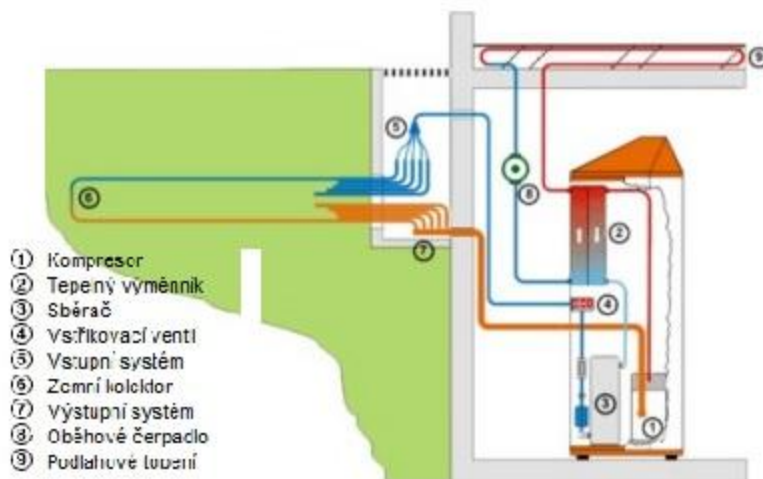
Obr. 3 - 3: Schéma systému vzduch-voda [23]

### 3.2.2 Tepelné čerpadlo země-voda

Tento typ tepelných čerpadel odebírá tepelnou energii pomocí do země uložených horizontálních kolektorů nebo hlubinných vrtů a následně ji transformují známým způsobem na vyšší teplotní hladinu. Obecnou výhodou je především menší závislost tepelného výkonu na počasí a schopnost si celoročně zachovat velmi výhodný poměr energie dodané a získané.

#### TČ s využitím zemních kolektorů

V určité hloubce pod povrchem země (od 1,2 do 1,5 m) je půda i v chladných obdobích dostatečně teplá, aby stačila jako zdroj pro tepelná čerpadla. Z půdy je odebírána tepelná energie pomocí trubkového tepelného výměníku, který je většinou plastový a předává energii protékající teplotnosné látce a ta výparníku. Tato látka nesmí zamrznout a musí být nezávadná pro životní prostředí. Hlavním předpokladem je však potřeba dostatečně velkého pozemku pro uložení potrubního systému a také vhodný typ půdy. Měrný výkon kolektorů se pohybuje v rozmezí  $15 \text{ W/m}^2$  u suchých a písčitých půd až  $60 \text{ W/m}^2$  u půd s výskytem spodní vody. Zemní kolektory se ukládají do hadovitého výkopu poblíž objektu pro vytápění v tzv. nezámrazné hloubce a dostatečně daleko od základů, aby nedocházelo k jejich promrznutí. Nevýhodou je fakt, že velikost plochy pro uložení zemního kolektoru je dvou až třináásobně větší než plocha vytápěného objektu a s tím jsou spojené i náklady na výkopové práce. Další nevýhodou je zhoršení využitelnosti půdy (nelze zde stavět, např. bazén) a při špatném dimenzování může docházet k ochlazení zeminy nad kolektorem. V případě, je-li k dispozici dostatečná plocha pro instalaci tohoto typu TČ, lze získat v podstatě nevyčerpatelný zdroj tepelné energie s velice příznivým topným faktorem. [24], [1]



Obr. 3 - 4: Schéma systému země-voda s zemními kolektory [23]

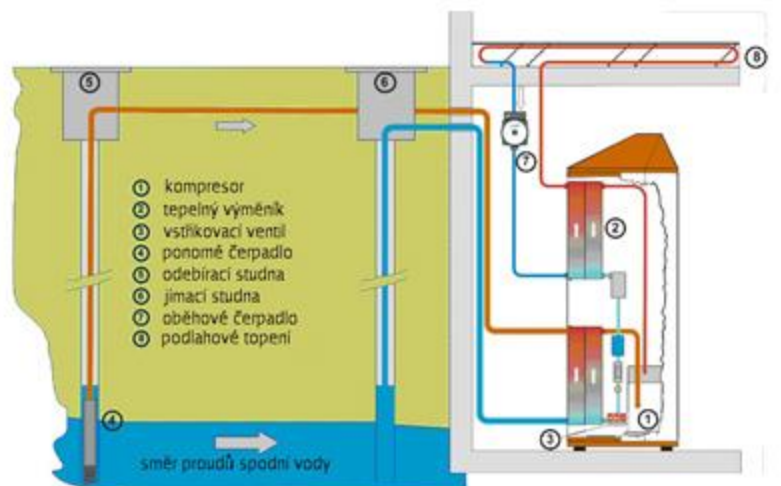
### 3.2.2.1 TČ s využitím zemních sond

Pro jímání tepelné energie ze země se využívají také tzv. zemní sondy umístěné v hlubinném vrtu (hloubky 50 až 150 m). Samotná zemní sonda sestává z patky sondy a se svislých souvislých potrubí (většinou z polyethylenu) představující tepelný výměník, kterým proudí nemrznoucí teplotonosná látka, která teplo zemi odnímá. Měrný výkon sond je opět závislý na složení půdy a pohybuje se v rozmezí 30 až 100 W na metr zemní sondy. Pro jedno zařízení se může zřídit i více sond s dostatečnou vzdáleností, aby se vzájemně neovlivňovali. Oproti zemním kolektorům dosahují lepších hodnot topného faktoru, jenomže na druhou stranu je tento typ TČ spojen se značnými náklady na pořízení. U projektů využívající zemní sondy je také nutné zaopatřit příslušné posouzení a schválení nařízené zákony. [24]

### 3.2.3 Tepelné čerpadlo voda-voda

Zdrojem nízkopotenciálního tepla může být také voda odpadní, povrchová, spodní nebo hlubinná. Pro běžné aplikace v oblasti se zástavbou přichází v úvahu především využití tepla ze spodních vod. Značnou výhodou těchto systémů je fakt, že i v zimním období si spodní voda udržuje stálou teplotu. V hloubce větší jako 10 m se celoročně teplota spodní vody pohybuje v rozmezí 8 až 10 °C. Vzhledem k stálé teplotní úrovni spodní vody jako tepelného zdroje dosahuje průměrná roční hodnota topného faktoru vysokých hodnot. Tento systém je realizován pomocí dvou studen, jedné zdrojové a druhé vsakovací, do které se vypouští voda po ochlazení. S tímto jsou spojeny nevýhody a to především potřeba zdrojové studny s dostatečnou vydatností vody (až 50 l.min<sup>-1</sup>) a také vsakovací studny. Tyto studny musí být dostatečně vzdálena od zdrojové studny (min. 15 m), aby nedocházelo k vracení ochlazené vody do zdrojové studny. Spodní voda musí vyhovovat chemickému rozboru na přítomnost minerálních látek, jinak by mohlo docházet k zanášení výměníku. Také je nutné ověřit vydatnost studny čerpací zkouškou, protože při výpadku zdrojové vody by mohlo dojít k poškození výměníku. Také využití spodní vody tepelnými čerpadly musí být schváleno vodohospodářským úřadem [3], [24]





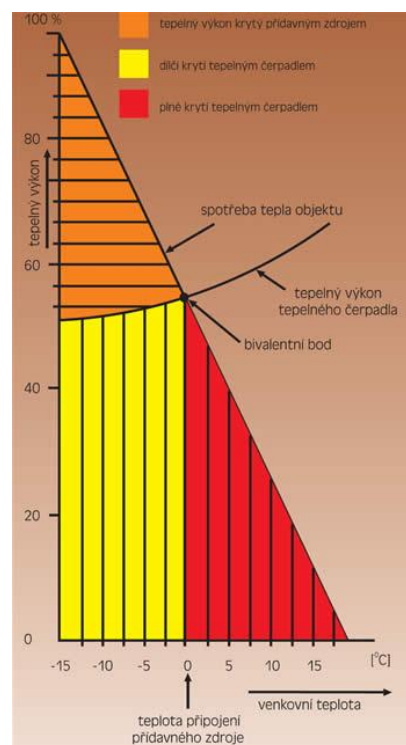
Obr. 3 - 5: Schéma systému voda-voda [24]

### 3.2.4 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch

Jedná se o systémy využívající jako zdroje tepla především venkovní vzduch nebo odpadní oteplený vzduch, který je odváděn z technologických procesů popř. z větracích systémů. V těchto případech má vzduch relativně vysokou teplotu. Možnost rekuperace tepla mezi odváděným a přiváděným venkovním vzduchem představuje významné úspory energie při teplovzdušném vytápění a větrání s klimatizací. Běžně lze dosáhnout až 50 % účinnost rekuperace tepla. V případě využití venkovního vzduchu nastává obdobná situace jako u systému vzduch-voda, kdy u teplot pod bodem mrazu klesá účinnost TČ a je přidáván pomocný tepelný zdroj [1]

### 3.3 Bivalentní zapojení TČ

Vzhledem k teplotním změnám během roku se mění i spotřeba tepelné energie na vytápění. Pokrytí celé spotřeby pomocí tepelného čerpadla se jeví jako značně neekonomické kvůli nutnosti instalace TČ s vyšším výkonem a větším zemním kolektorem, popř. větším počtem vrtů nebo hlubšími vrty. Z tohoto důvodu je do systémů zařazován další špičkový zdroj tepla, obvykle elektrokotel, který je při dané venkovní teplotě připojen a vypomáhá tepelnému čerpadlu. Také může sloužit jako záloha v případě výpadku TČ. Mluvíme potom o systému s bivalentním zapojením tepelného čerpadla. Díky tomu může být instalovaný tepelný výkon TČ nižší, než je maximální potřebný. U správně dimenzovaných systémů pokrývá špičkový zdroj pouze 10 až 15 % celkové roční spotřeby tepla. [3]



Obr. 3-6 : Bivalentní provoz tepelného čerpadla [3]

### 3.4 Shrnutí výhod a nevýhod užití TČ

#### Výhody:

- Dodání několikanásobně většího množství energie než spotřebováno (dvou až trojnásobek)
- Plně automatický provoz s vynikajícími možnostmi regulace
- Snadno dostupná energie pro pohon
- Ekologický čistý provoz a snížení ekologické zátěže
- Nižší požadavky na instalovaný příkon (oproti běžnému elektrickému vytápění)
- Možnost přechodu na výhodnější odběratelský tarif využitelný i pro ostatní spotřebiče
- Možnost sezónně vytápět bazény nebo použít TČ jako klimatizaci

#### Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady (oproti tradičním plynovým kotlům, popř. elektrokotlům)
- Potřeba nízké teploty výstupní otopné vody (maximálně cca 55°C), a proto je nutná nízkoteplotní otopná soustava
- U systémů země/voda je nutná dostatečná plocha pro zemní kolektory, dochází k velkému záběru půdy (nelze zde stavět základy staveb, bázény) a existuje možnost snížení teploty půdy nad kolektory
- U systémů voda/voda je požadováno dostatečné prostupné podloží s vydatným pramenem, také je nutné splnění chemické analýzy vody
- U systémů vzduch/voda je dosahováno nižších hodnot poměru vyrobené energie k spotřebované oproti ostatním systémům. Také jsou zde problémy s hlučností ventilátorů. Také tento typ TČ má díky vyššímu namáhání kompresoru nižší životnost kompresorů než je to u ostatních systémů.

Tab. 3 - 1: Srovnání typických hodnot ročního provozního topného faktoru TČ [3]

tepelné čerpadlo	tepelný zdroj	roční provozní faktor u podlahového vytápění	roční provozní topný faktor u vytápění radiátorovými tělesy
se zemními kolektory	země	3,6	3,2
voda-voda	spodní voda	3,4	3,0
vzduch-voda	vzduch	3,0	2,3

## 4 STANOVENÍ OBJEKTU

Jedním z cílů této práce je také určení velikosti a umístění objektu, pro který bude dále určena potřeba energií pro jeho provoz. Jedná se o konkrétní plánovanou novostavbu rodinného domu se začátkem výstavby v 2. polovině roku 2012. Vzhledem k neochotě majitele poskytnout konkrétní plány stavby s navrhovanými systémy, jsem zvolil níže popsany projekt rodinného domu z katalogu RD stavěných na klíč.

### 4.1 Umístění a orientace RD

Stavební parcela je umístěna v obci Žabčice 20km jižně od Brna. Konkrétní umístění plánovaného RD a orientace jeho střechy vzhledem k světovým stranám je vyobrazeno níže na obr. 4 - 1. Navrhovaný dům má mít příznivou orientaci část střechy téměř jižním směrem (odklon cca 5 ° východním směrem) a proto je vhodný instalaci solárních systémů.



Obr. 4 - 1: Umístění plánovaného rodinného domu

### 4.2 Obecné parametry lokality:

- nadmořská výška: 182 m
- venkovní výpočtová teplota: -12 °C
- průměrný roční úhrn globálního záření (horizontální plocha): 1118 kWh/m<sup>2</sup>
- délka otopného období: 222 dní

Tab. 4 - 1: Průměrné venkovní teploty v měsících otopného období pro oblast (Židlochovice) [25]

měsíc	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.
$\vartheta_p$	14,6	9,1	3,8	0,1	-2	-0,4	4,1	9,2	14,6

Tab. 4 - 2: Průměrný měsíční počet hodin slunečního svitu (Brno) [26]

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	celkem
t [h]	41	67	127	159	224	218	212	219	155	117	44	37	1620

pozn.: pro danou oblast lze uvažován mírně vyšší celkový počet hodin slunečního svitu a to přibližně 1700 h.

### 4.3 Popis domu

V návrhu je počítané s typovým projektem samostatně stojícího dvoupodlažního rodinného domu. Dům je určený pro bydlení 4-5 osob s dispozicí 4+kk. Samotný dům je koncipován s kuchyní, obývacím pokojem, garáží, technickou místností a toaletou v přízemí. V patře jsou potom umístěny tři pokoje a koupelna. Půdorysné rozměry domu jsou 9,5 m a 11,16 m. Celková zastavěná plocha je 106 m<sup>2</sup> a užitná plocha objektu je 158,9 m<sup>2</sup>. Z celkové plochy tvoří podlahovou plochu přízemí 88,06 m<sup>2</sup> a podkroví 70,84 m<sup>2</sup>. Vnitřní obestavěn prostor objektu je 643 m<sup>3</sup>. Střecha je typu polovalbového a její sklon vůči vodorovné rovině je 40 °. Výška hřebene střechy je 8,0 m. Daný projekt je plánován z hlediska energetického standardu jako nízkoenergetický, tj. s roční potřebou tepla na vytápění do 50 kWh.m<sup>-2</sup>. Za účelem dosažení minimálních ztrát je na obvodové stěny z 375 mm pórobetonových tvárníc Ytong P1 aplikována vrstva minerálních tepelně izolačních desek Multipor 150 mm. Předpokládaný prostup tepla plochou (U) zdí je přibližně 0,15 W/m<sup>2</sup>.K. Pod podlahu přízemí a podkroví je navržena tepelná izolace z minerální vlny s prostupem tepla 0,30 W/m<sup>2</sup>.K. Pro zateplení střechy má být aplikována PUR pěnová izolace o tloušťce 180 mm a  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{.K}$ . Navržené okna jsou plastová zasklená trojsklem a prostupem tepla 0,85 W/m<sup>2</sup>.K. Celková navrhovaná tepelná ztráta objektu je 6,5 kW. Vzhledem k plánům využití solárních systémů nebo TČ pro vytápění je zvolen topný systém využívající teplovodní podlahové vytápění. Tento způsob vytápění je díky větší teplosměnné ploše schopen dodat stejný tepelný výkon jako klasické soustavy, ale při nižších teplotách na vstupu i výstupu, což koresponduje s možnostmi aplikací vzpomínaných systémů. V praxi se jedná nejčastěji o teplotní spád 35/30 °C. Samotné konstrukční parametry a vizualizaci konkrétního rodinného domu jsem převzal ze zapůjčeného katalogů RD na klíč [27]



Obr. 4 - 2: Vizualizace plánovaného rodinného domu [27]

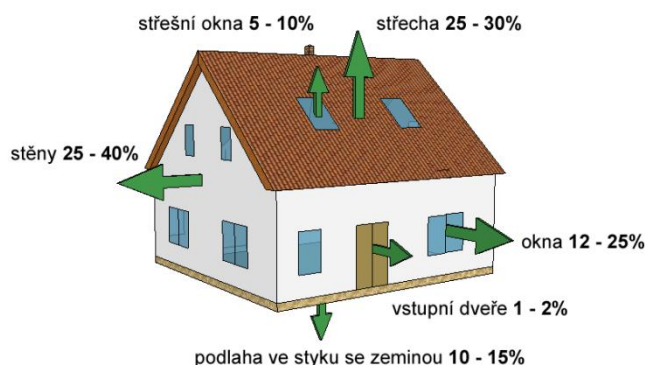


## 5 STANOVENÍ POTŘEB ENERGIE RODINNÉHO DOMU

Pro optimální návrh napájení rodinného domu alternativními zdroji energií je nutné nejdříve co nejpřesněji namodelovat potřeby jednotlivých energií a z těchto hodnot vycházet při dimenzování. Nejznačnější část spotřebované energie se využije především k vytápění, k ohřevu teplé vody a na pokrytí spotřeby elektrických přístrojů. Stanovení těchto potřeb bude rozvedeno v následujících podkapitolách.

### 5.1 Stanovení potřeby tepla pro vytápění

U stanovení potřeby energie pro vytápění se vychází z tzv. tepelné ztráty budovy. Tyto ztráty se stanovují výpočtem dle současně platné normy ČSN EN 12831 („Tepelné ztráty v budovách – Výpočet tepelného výkonu“). Tepelné ztráty objektu bývají způsobeny především špatnými izolačními vlastnostmi jednotlivých částí domu, přes které dochází k přestupu tepla tj. tepelným ztrátám.



Obr. 5 - 1: Tepelné ztráty obálkou budovy [28]

Výpočet potřeby tepla na vytápění za rok vychází z celkové tepelné ztráty objektu, rozdílu mezi vnitřní a vnější teplotou a také na délce otopného období. Hodnota spotřeby je korigovaná opravným součinitelem zohledňujícím jednotlivé vlivy na konečnou spotřebu. Vztah pro výpočet potřeby tepla na vytápění založen na tzv. denostupňové metodě má tvar dle [29]:

$$Q_v = \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{\vartheta_{is} - \vartheta_e} \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \quad (\text{kWh.rok}^{-1}; \text{kW}, ^\circ\text{C}, -, ^\circ\text{C}, ^\circ\text{C}, -, -) \quad (5.1)$$

$Q_c$  – celková tepelná ztráta objektu

$D$  – počet denostupňů, výpočet dán:

$$D = d \cdot (\vartheta_{is} - \vartheta_{es}) \quad (^\circ\text{C}; -, ^\circ\text{C}, ^\circ\text{C}) \quad (5.2)$$

$d$  – počet dnů otopné sezóny

$\vartheta_{is}$  – průměrná vnitřní výpočtová teplota, stanovuje se dle účelu objektu (RD, sklad...)

$\vartheta_{es}$  – střední venkovní teplota v době vytápěcí zóny, určuje se dle lokality

$\vartheta_e$  – venkovní výpočtová teplota (také se určuje dle lokality)

$\varepsilon$  – opravný součinitel, dán vztahem:

$$\varepsilon = \varepsilon_i \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_d \quad (-; -, -, -) \quad (5.3)$$

$\varepsilon_i$  – součinitel nesoučasnosti tepelných ztrát infiltrací a tepelných ztrát prostupem

$\varepsilon_t$  – součinitel poklesu teploty během dne nebo noci

$\varepsilon_d$  – součinitel zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami ve vytápění

$\eta_o$  – účinnost obsluhy, resp. regulační možnosti soustavy

$\eta_r$  – účinnost rozvodu vytápění

Tento typ výpočtů se používá pro návrh i pro hodnocení úsporných opatření. Ve výše uvedených vztazích je největší nejistota ohledně volby opravného součinitele  $\varepsilon$ , kdy nevhodnou volbou lze dojít k zásadně odlišným hodnotám. Také nevýhodou je, že opomíjí využitelnost solárních zisků a vnitřních tepelných zisků (teplo spotřebičů), proto skutečná potřeba tepla na vytápění je zpravidla nižší. [28]

Zadané hodnoty:

$$Q_c = 6,5 \text{ kW}$$

$$d = 222 \text{ (uvažována hodnota pro lokalitu Brno)}$$

$$\vartheta_{is} = 20 \text{ °C}, \vartheta_{es} = 3,6 \text{ °C}, \vartheta_e = -12 \text{ °C}$$

$$\varepsilon_i = 0,8, \varepsilon_t = 0,9, \varepsilon_d = 1,0$$

$$\eta_o = 0,95, \eta_r = 0,95$$

$$D = d \cdot (\vartheta_{is} - \vartheta_{es}) = 222 \cdot (19 - 3,6) = 3418,8 \text{ °C}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_i \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_d = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 0,72$$

$$Q_{V,r} = \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{\vartheta_{is} - \vartheta_e} \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} = \frac{24 \cdot 6,5 \cdot 10^3 \cdot 3418,8}{20 - (-12)} \cdot \frac{0,72}{0,95 \cdot 0,95} = 13\,296 \text{ kWh.rok}^{-1}$$

Přibližná měsíční spotřeba tepelné energie na vytápění je následně určena součinem denní spotřeby, počtu dní v měsíci a poměrné hodnoty, která je dána rozdílem průměrné venkovní teploty (pro daný měsíc otopného období) a vnitřní teploty vůči výpočtovému rozdílu.

$$Q_{V,m} = 24 \cdot n \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot Q_c \cdot \frac{\vartheta_{is} - \vartheta_m}{\vartheta_{is} - \vartheta_e} \text{ (kWh.m}^{-1}\text{; -, kW, °C, °C, °C, °C)} \quad (5.4)$$

## 5.2 Stanovení potřeby tepla na ohřev TUV

Potřeba tepelné energie na ohřev vody je dána především množstvím ohřívané vody vtažené k měrné jednotce (u RD vztaženo na 1 obyvatele), dále na teplotě vody na vstupu a výstupu ze systému a tepelné ztrátě celého systému. [30]

Vztah pro denní spotřebu energie je dán:

$$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot n \cdot V_p \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)}{3600} \quad (\text{kW.h; -, kg.m}^{-3}, \text{J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{-, m}^3, ^\circ\text{C}, ^\circ\text{C}) \quad (5.5)$$

$z$  – koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody

$\rho$  – hustota vody

$c$  – měrná tepelná kapacita vody

$n$  – počet vztažných jednotek (obyvatel)

$V_p$  – měrná jednotková spotřeba připadající na časovou jednotku tj. 1 den,

$\vartheta_2, \vartheta_1$  – teplota výstupní ohřáté resp. vstupní ohřívané vody

Pro stanovení reálných hodnot celkové roční spotřeby je nutné v dalších výpočtech zohlednit roční profil spotřeby (tj. počet dní využití) a také teplotu vstupní vody v teplém a studeném období.

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{\vartheta_2 - \vartheta_{sv,l}}{\vartheta_2 - \vartheta_{sv,z}} \cdot (N - d) \quad (\text{kWh.r}^{-1}; \text{kWh, -, kWh, } ^\circ\text{C, } ^\circ\text{C, } ^\circ\text{C, } ^\circ\text{C, -, -}) \quad (5.6)$$

$d$  – počet dní otopné sezóny, resp.

$\vartheta_{sv,l}, \vartheta_{sv,z}$  – teplota vstupní ohřívané vody v teplém, resp. studeném období

$N$  – počet pracovních dní soustavy pro ohřev TUV

Zadané hodnoty:

$$z = 0,2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}, c = 4186 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$n = 5 \text{ osob}$$

$$V_p = 45 \text{ l.d}^{-1}$$

$$\vartheta_2 = 55 ^\circ\text{C}, \vartheta_1 = 10 ^\circ\text{C}, \vartheta_{sv,l} = 15 ^\circ\text{C}, \vartheta_{sv,z} = 5 ^\circ\text{C}$$

$$d = 222, N = 365$$

$$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot n \cdot V_p \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)}{3600} =$$

$$Q_{TUV,d} = (1+0,2) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 5 \cdot 0,045 \cdot (55-10)}{3600} = 14,128 \text{ kWh}$$

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{\vartheta_2 - \vartheta_{sv,l}}{\vartheta_2 - \vartheta_{sv,z}} \cdot (N - d)$$

$$Q_{TUV,r} = 14128 \cdot 222 + 0,8 \cdot 14128 \cdot \frac{55-15}{55-5} \cdot (365 - 222) = 4429,4 \text{ kWh}$$

Měsíční spotřeba tepelné energie pro ohřev TUV je následně dána součinem počtu jednotlivých dní v měsíci a denní potřeby energie pro ohřev.

$$Q_{TUV,m} = n \cdot Q_{TUV,d} \quad (\text{kWh} \cdot \text{m}^{-1}; -, \text{kWh}) \quad (5.7)$$

### 5.3 Stanovení potřeby elektrické energie

Pro stanovení spotřeby elektrické energie je nutné znát především do sítě připojené spotřebiče, hodnoty jejich příkonů a také dobu jejich provozu. Jedním z hlavních faktorů ovlivňující spotřebu elektrické energie je zvolený typ systému vytápění a ohřevu TUV. Pro výše uvedený rodinný dům je zvoleným systémem vytápění s použitím tepelného čerpadla vzduch-voda s dotopovým elektrokotlem. Tento systém ohřívá i TUV. Pro určení reálných hodnot potřeby elektrické energie nelze použít celkový instalovaný výkon objektu ( $P_i$ ), protože je malá pravděpodobnost, že by všechny spotřebiče pracovaly najednou a taktéž při plném jmenovitém výkonu. Z tohoto důvodu je zavedeno tzv. výpočtové zatížení, které je reálněji vypovídajícím parametrem, který se používá pro návrh velikosti napájecího zdroje, rozvodných vodičů, měřících a ochranných prvků. Výpočtové zatížení je dané součinem instalovaného výkonu a součinitele náročnosti, který zohledňuje právě výše uvedený fakt, především nesusoučasnost využití všech napájených zařízení. [31]

Vztah pro výpočet výpočtového zatížení spotřebiče:

$$P_{vzi} = \beta \cdot P_n \quad (\text{kW}; -, \text{kW}) \quad (5.8)$$

$\beta$  – součinitel náročnosti

$P_n$  – jmenovitý příkon spotřebiče

Celkové výpočtové zatížení objektu:

$$P_{vz} = \sum_{i=1}^n P_{vzi} \quad (\text{kW}; -, \text{kW}) \quad (5.9)$$

Hodnoty jmenovitých příkonů a výpočtových zatížení pro jednotlivé spotřebiče a jejich celkové hodnoty jsou uvedeny v Tab 5.1, s.34

$$P_{vz} = 18,03 \text{ kW}$$

V konkrétním případě poslouží k určení hodnoty výpočtového proudu a z něj následně jmenovitého proudu hlavního jističe.

$$I_v = \frac{P_{vz}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} \quad (\text{A}; \text{W}, \text{V}, -) \quad (5.10)$$

$U_n$  – jmenovité sdružené napětí sítě

$\cos \varphi$  – účinník (předpokládáný účinník 0,9)



$$I_v = \frac{18,30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400,0,9} = 28,91 \text{ A}$$

Pro  $I_v = 28,91 \text{ A}$  je zvolen hlavní jistič o jmenovité hodnotě 3x32 A

Tab. 5 - 1: Jmenovité výkony a výpočtové zatížení spotřebičů

Spotřebič	$P_n$	$\beta$	$P_{vzi}$
	kW	-	kW
Dotopový elektrokotel	9,20	0,35	3,22
Tepelné čerpadlo	2,50	0,85	2,13
Varná deska + trouba	10,2	0,35	3,57
Lednice s mrazákem	0,63	0,35	0,22
Myčka	0,80	0,35	0,28
Mikrovlnná trouba	0,75	0,35	0,26
Automatická pračka	0,76	0,35	0,27
Osvětlení celkem	1,60	0,35	0,56
Vodárna	1,50	0,35	0,53
Další spotřebiče	20,00	0,35	7,00
<b>Celkem</b>	<b>26,03</b>	<b>-</b>	<b>18,03</b>

Předpokládaná denní spotřeba elektrické energie ostatními spotřebiči (tj. mimo TČ a dotopový elektrokotel) je odhadnuta na 12 kWh, což za celý rok činí 4380 kWh.

## 6 NÁVRH SYSTÉMU S TEPELNÝM ČERPADLEM

Pro navrhovaný dům je projektován otopný systém s nízkými teplotami na vstupu a nízkým teplotním spádem, proto je vhodné pro tuto aplikaci uvažovat systém ohřevu otopné a užitkové vody s využitím tepelného čerpadla. V následujících podkapitolách bude proveden výběr technologie, návrh systému a jeho zapojení.

### 6.1 Výběr typu TČ

Pro výběr konkrétního typu tepelného čerpadla je nutné vzít v úvahu parametry domu, lokality, ale také ekonomické náklady a návratnost. Nejideálnější celoroční parametry vykazují systémy využívající zemskou půdu jako zdroj nízkopotenciální energie. Pro tento typ systémů konkrétně s využitím zemních sond je nutný vhodný typ podloží s dobrou hodnotou měrného tepelného toku, což není případ dané lokace, kde se vyskytuje suchá písčité půda se štěrkopískovým podložím. Pro daný případ je hodnota měrného výkonu jímání přibližně 30 W/m (pro srovnání v případě normální pevné horniny se uvažuje hodnota výkonu 55-65 W/m). Vzhledem k tomuto faktu by byla nutná k dosažení požadovaného výkonu větší hloubka vrtů, popř. větší počet vrtů, což by značně zvýšilo náklady na již tak finančně náročnou realizaci. Jako další připadá v úvahu využití zemních kolektorů, které ovšem potřebují značnou plochu pro dosažení požadovaného výkonu (odhadováno cca 250 m<sup>2</sup>), což je téměř celá dostupná nezastavěná plocha pozemku a na této ploše nebude možné provádět žádnou stavební činnost. Opět je zde nutné uvažovat s mírnou nesnází ohledně nevhodného složení půdy a následně s její nízkou tepelnou vodivostí a sníženým odejímaným výkonem. Především z důvodu omezených rozměrů pozemku a ponechání otevřené možnosti následné výstavby (např. bazénu) na něm, nepřipadá v úvahu využití zemních kolektorů. I přes veškeré výhody systémů země-voda vzpomínané v předcházejících kapitolách jsou dvě kritéria, a to zejména snižující se cena a zlepšující se parametry, díky kterým v současnosti značně roste zájem o tepelná čerpadla využívající jako zdroj tepelné energie venkovní vzduch. S využitím systémů vzduch-voda odpadají především nákladné zemní práce a zejména instalace sond, popř. kolektorů. Na rozdíl od systému využívajících zemní sondy popř. podzemní a povrchní vody nejsou u těchto systémů zákonem stanovené právní předpisy, které musí být splněny. [32]

Především z důvodu výrazně nižších pořizovacích nákladů, zastavení dotačních programů, nepotřebnosti výrazných stavebních úprav a relativně dobrých klimatických podmínek bude návrh topného systému proveden s využitím tepelným čerpadlem vzduch-voda.

### 6.2 Dimenzování systému a výběr modelu TČ

Postup dimenzování tepelného čerpadla je obdobný jako u jiných otopných zdrojů tj. vychází z pokrytí tepelné ztráty objektu, typu otopné soustavy, jejího tepelného spádu a také dalších možností využití zdroje, např. společný ohřev topné vody i TUV.

Samotné dimenzování tepelného čerpadla závisí také na jeho konstrukci. V případě konvenčních TČ s tzv. scroll kompresory, které nemají regulovatelný výkon, se obvykle navrhuje na bivalentní zapojení. U tepelného čerpadla se počítá s pokrytím určité části tepelné ztráty (při výpočtové teplotě), obvykle 50-90 % a to vzhledem k vzpomínaným důvodům: snížení investice na TČ, snížení četnosti jeho rozběhů, a tím i prodloužení životnosti. Podle zkušeností odborníků by měl být bod bivalence (venkovní teplota, do které tepelnou ztrátu plně pokrývá TČ) v rozmezí -3 °C až -10 °C. [32]

Výrobci tepelných čerpadel udávají hodnoty výkonu a topného faktoru dle standartu Eurovent při 7 °C venkovní teploty a 35 °C teploty topné vody (označení A7/W35). Proto je nutné při dimenzování porovnávat příslušné hodnoty výkonů, popř. topného faktoru k dané venkovní teplotě a teplotě topné vody.

Při výběru modelu tepelného čerpadla, jeho výrobce a dodavatele je nutné postupovat obezřetně. Proto je zvolen jako výrobce švédská firma IVT, která má v oboru dlouholeté zkušenosti a jako jediná na našem trhu poskytuje 5letou záruku na celé čerpadlo a 10letou záruku na kompresor. Další z faktů mluvících pro tohoto výrobce je fakt, že tepelné čerpadlo a vnitřní jednotka mají veškeré potřebné součásti již zkompleťované z výroby (elektrorozvaděč, sofstartér, elektronický regulátor, expanzní nádoby, oběhové čerpadla, atd.) a jsou řádně odzkoušené na rozdíl od výrobců levných TČ, kteří se argumentují značně nižší cenou, díky dodávání „polotovárů“.

### 6.2.1 Tepelné čerpadlo IVT AIR 70

Pro tepelnou ztrátu 6,5 kW při teplotě -12 °C bylo zvoleno tepelné čerpadlo IVT AIR 70 o výkonu 7,6 kW (A7/W35; cca 4,08 kW pro A-12/W35) v kombinaci s vnitřním modulem (tzv. Combimodul) obsahujícím dotopný elektrokotel a sloužící zároveň jako zásobník teplé a topné vody. Je zde využít systému ekvitermní regulace, která je schopna měnit teplotu vody v otopném systému v závislosti na zvolené na aktuální venkovní teplotě, vzhledem k faktu, že při nižší venkovní teplotě je potřebná vyšší teplota topné vody, aby došlo k rovnováze mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami. Požadovanou hodnotu teploty topné vody dosáhneme pomocí směšovacího systému, který je přímo ovládán ekvitermní regulátorem. Tímto způsobem dosáhneme značných úspor oproti konvenčním termostatickým regulacím. Vzhledem k značnému množství možností a zároveň kompaktnosti systému, která zjednoduší jeho instalaci, jej lze považovat za ideální volbu i přes vyšší náklady.

Pro určení míry bivalence a následně potřebné množství energie dodané dotopovým elektrokotlem je zapotřebí určení koeficientu, vyjadřující množství energie dodané TČ. Pomocí tohoto koeficient se následně z dané závislosti (viz. obr. 6-1) stanoví celkové roční množství tepelné energie dodané TČ a elektrokotlem. [32]

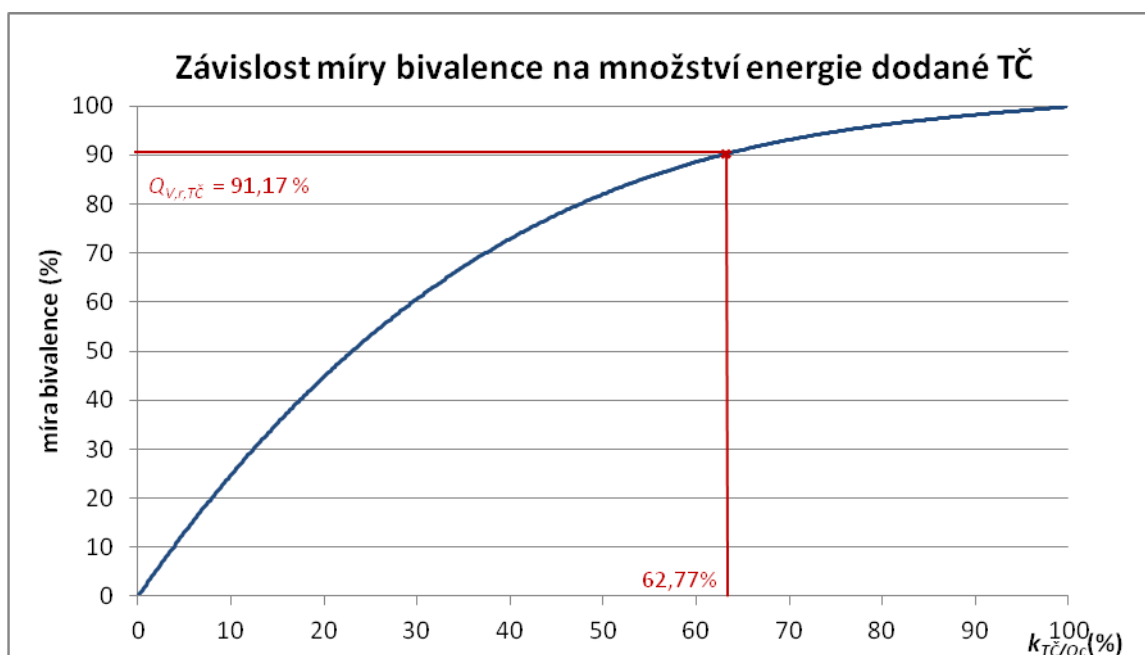
Zadané hodnoty:

$$Q_{TČ} (-12\text{ °C}) = 4,08\text{ kW}$$

$$Q_c = 6,5\text{ kW}$$

$$k_{TČ/Q_c} = \frac{Q_{TČ}}{Q_c} \cdot 100 \quad (\%; \text{ kW, kW})$$

$$k_{TČ/Q_c} = \frac{4,08}{6,5} \cdot 100 = 62,77\%$$



Obr. 6 - 1: Graf závislosti míry bivalence na množství energie dodané TČ - určení [32]

Tepelné čerpadlo v tomto případě pokryje 91,17 % celkové roční potřeby tepla, zbytek tj. 8,83 % dodá dotopný elektrokotel.

Tab. 6 - 1: Parametry TČ IVT AIR 70

IVT AIR 70		
Výkon	kW	7,6
Příkon	kW	2,1
Topný faktor	-	3,6
Nominální průtok teplý okruh	l/s	0,29
Průtok vzduchu	m <sup>3</sup> /h	220
Elektrické zapojení	V;Hz	3 x 230; 50
Jistič	A	10
Max. výstupní teplota	°C	65
Min. provozní teplota	°C	- 20

Tab. 6 - 2: Parametry vnitřní jednotky IVT COMBIMODUL 200 A/W

Vnitřní jednotka IVT		
Výkon elektrokotle	kW	9
Celkový max. el. příkon	kW	9,2
Jistič	A	16
Elektrické zapojení	V;Hz	3 x 230; 50
Ventilátor	V; A	230; 0,44
Jistič	A	16
Zásobník TUV	l	163 (225)

pozn.: parametry TČ i vnitřní jednotky jsou čerpány z technického listu TČ (viz. příloha A)

### 6.3 Návrh hydraulického zapojení a popis provozu systému

Návrh zapojení systému vychází především z požadavku pro využití systému (tj. ohřev TUV a topné vody) a musí respektovat dané vnitřní uspořádání daného tepelného čerpadla a vnitřní jednotky. Ohřátá voda z TČ je vedena na vstup do vnitřní jednotky, kde je v případě nedostačující teploty automaticky dohřívána dotopným elektrokotlem. Systém je provozován s přednostním ohřevem TUV. V případě, že je ohřívána voda v zásobníku TUV, je vytápění pomocí třífázového ventilu odstavené. Po dosažení požadované teploty v zásobníku je vytápění opět zásobováno otopnou vodou. Při teplotách pod  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  je TČ zcela odstaveno. Dotopný elektrokotel automaticky přebírá provoz vytápění a ohřevu TUV. Schéma hydraulického zapojení je uvedeno na obr. 6 - 2.

### 6.4 Návrh elektrického zapojení systému

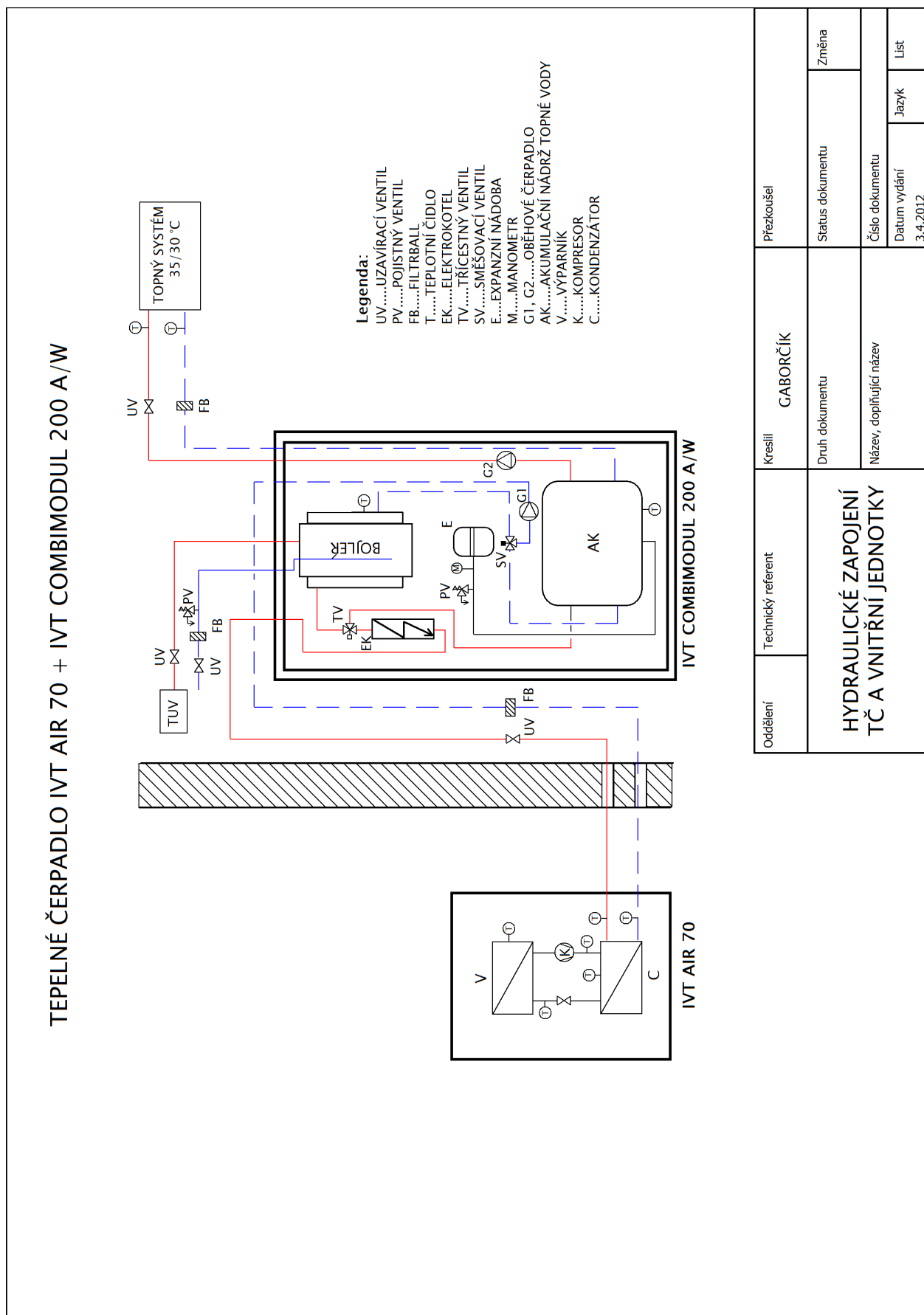
Pro svůj provoz potřebuje tepelné čerpadlo napájení elektrickou energií. Největší výkonový odběr u tepelných čerpadel má především kompresor a je-li instalován, tak dotopový elektrokotel. Při startu kompresoru dochází ke krátkodobému navýšení odebíraného proudu, tzv. startovací proud. Pro zmírnění velikosti startovacího proudu jsou u kvalitnějších TČ instalovány tzv. sofstartéry, které jsou schopny omezit tento startovací proud o cca 30 %. Tepelné čerpadlo i vnitřní jednotka vyžadují třífázové napájení, které nelze provést pomocí vidlic do zásuvek, proto se připojují poddajnými přívody z odbočných rozvodek. Samotný přívod je veden vodičem 5xCYKY-J  $6\text{ mm}^2$  z hlavního domovního rozvaděče do podružného rozvaděče tepelného čerpadla RTČ, odkud jsou vedeny vlastní přívody (5xCYKY-J  $2,5\text{ mm}^2$ ) k TČ a vnitřní jednotce. Přívody jsou jištěny jističi příslušných hodnot a pomocí stykačů je blokován provoz při vysokém tarifu. Pro ovládání stykačů jsou vyvedeny kabely 3xCYKY-J  $1,5\text{ mm}^2$  z HDO. Při návrhu elektrického schématu připojení TČ a vnitřní jednotky je vycházeno z provozních parametrů a požadované elektropřípravy od výrobce. Schéma návrhu elektrického připojení TČ a vnitřní jednotky je uvedeno na obr. 6 - 3.

### 6.5 Tarifní sazba D56d pro TČ

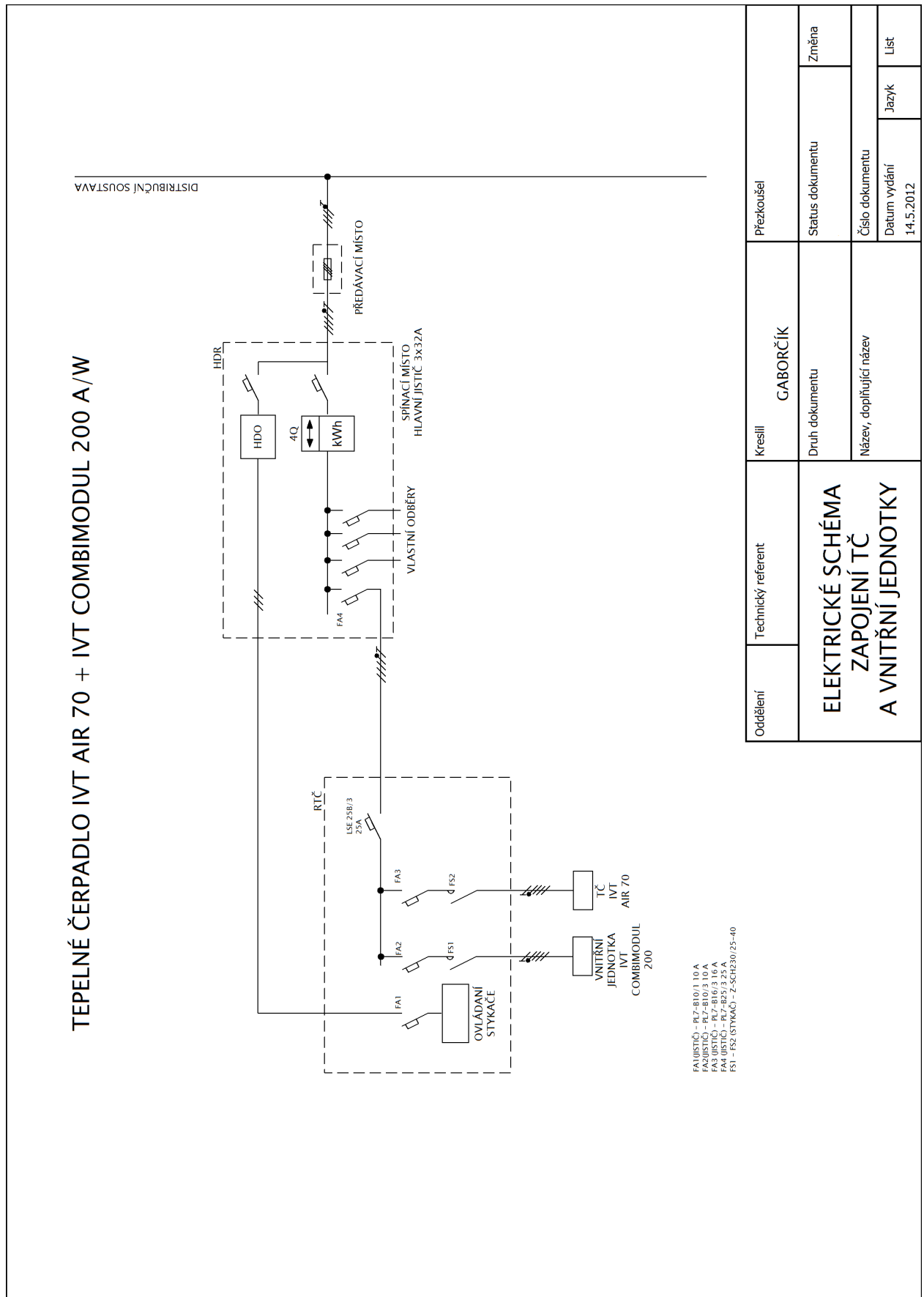
Pro dosažení co nejvýhodnějších provozních nákladů na provoz TČ je vhodné zažádat o přiznání dvoutarifní sazby D56d určeného pro TČ. Kritéria přiznání jsou následující:

- věrohodným způsobem prokázání distributorovi el. energie, že je systém řádně instalován a systém s TČ je schopen pokrýt minimálně 60 % tepelných ztrát objektu ( $k_{TČ/Qc} > 60\%$ )
- je zajištěno technické blokování topných elektrických spotřebičů po dobu platnosti vysokého tarifu
- TČ bylo uvedeno do provozu po 1.4.2005

Splnění uvedených podmínek odběratel dokládá protokolem o instalaci TČ a revizní zprávou. Tyto dokumenty jsou požadovány jako podklady pro připojení nového odběrného místa, změně charakteru odběru nebo změně proudové hodnoty hlavního jističe. Pro daný návrh se předpokládá se splněním potřebných kritérií, proto je dále v práci uvažován tento tarif. [33]



Obr. 6 - 2: Hydraulické schéma zapojení TČ a vnitřní jednotky



Obr. 6 - 3: Elektrické schéma zapojení TČ a vnitřní jednotky

## 7 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Pro daný rodinný dům s využitím výše popsaného systému vytápění a ohřevu TUV je v této části práce navržen fotovoltaický systém, který bude schopen pokrýt určitou část potřeby elektrické energie. Tento systém počítá se zapojením pro pokrytí vlastní spotřeby domácnosti a prodeje případných přebytků do sítě (tj. forma podpory – zelený bonus). Počítá se s využitím jižní strany střechy pro umístění FV panelů. Dostupná plocha bez oken a valby činí přibližně 83,5 m<sup>2</sup>.

### 7.1 Výběr panelů, střídače a určení způsobu zapojení

Při výběru technologie FV je brána v potaz možnost maximálního využití v průběhu celého roku, tj. i při nižších hodnotách svitu s možností využití difuzního záření. Proto je vhodné uvažovat o systémech s polykrystalickou a tenkovrstvou technologií. Primárně jsou pro FV systém (označován dále FVE 1) zvoleny polykrystalické panely, které dosahují značně vyšších výkonů, ale za cenu vyšších pořizovacích nákladů. Proto je proveden srovnávací návrh systému využívající tenkovrstvou technologii (FVE 2). Systém FVE 1 je navrhován s 32 ks panelů a systém FVE 2 s 36 ks panelů, které pokryjí veškerou dostupnou plochu jižní části střechy. Vzhledem k dobrým výkonnostním parametrům a příznivým cenám byly zvoleny níže uvedené fotovoltaické panely.

Tab. 7 - 1: Parametry vybraných FV panelů [Příloha B a C]

Typ panelu		Canadien Solar CS6P 250P	NexPower NT-150AX
Maximální výkon	W	250	150
Provozní napětí	V	30,4	64,7
Provozní proud	A	8,22	2,32
Napětí naprázdno	V	37,5	85,5
Zkratový proud	A	8,74	2,54
Zaručený výkon (10/25 let)	%	90/80	90/80

Celkový špičkový výkon systému je dán součinem špičkového výkonu jednoho panelu a počtu panelů ve všech větvích.

$$P_{FVE} = n \cdot P_i \quad (W_p; -, W_p)$$

$$P_{FVE1} = 32 \cdot 250 = 8000 \text{ Wp}$$

$$P_{FVE2} = 36 \cdot 150 = 5400 \text{ Wp}$$

Vzhledem k značným finančním nákladům a také nutnosti kvalitního střídače, z důvodu jeho namáhání, je vhodné vybírat modely od renomovaných výrobců, u kterých se očekává delší životnost. Pro stanovený výkon systému FVE 1 jsou zvoleny dva jednofázové střídače německého výrobce KACO Powador 4400. Střídače budou připojeny na první dvě fáze, které budou ze značné části zásobovat elektrickou energii tepelné čerpadlo a většinu spotřebičů v domácnosti. Pro systém FVE 2 z důvodu použití tenkovrstvé technologie je nezbytně nutné použít galvanicky oddělené střídače, díky kterým nedochází k poškození panelů. Pro tento systém je vybrán jeden transformátorový střídač KACO Powador 6002.



Tab. 7 - 2: Parametry vybraných střídačů [Příloha D]

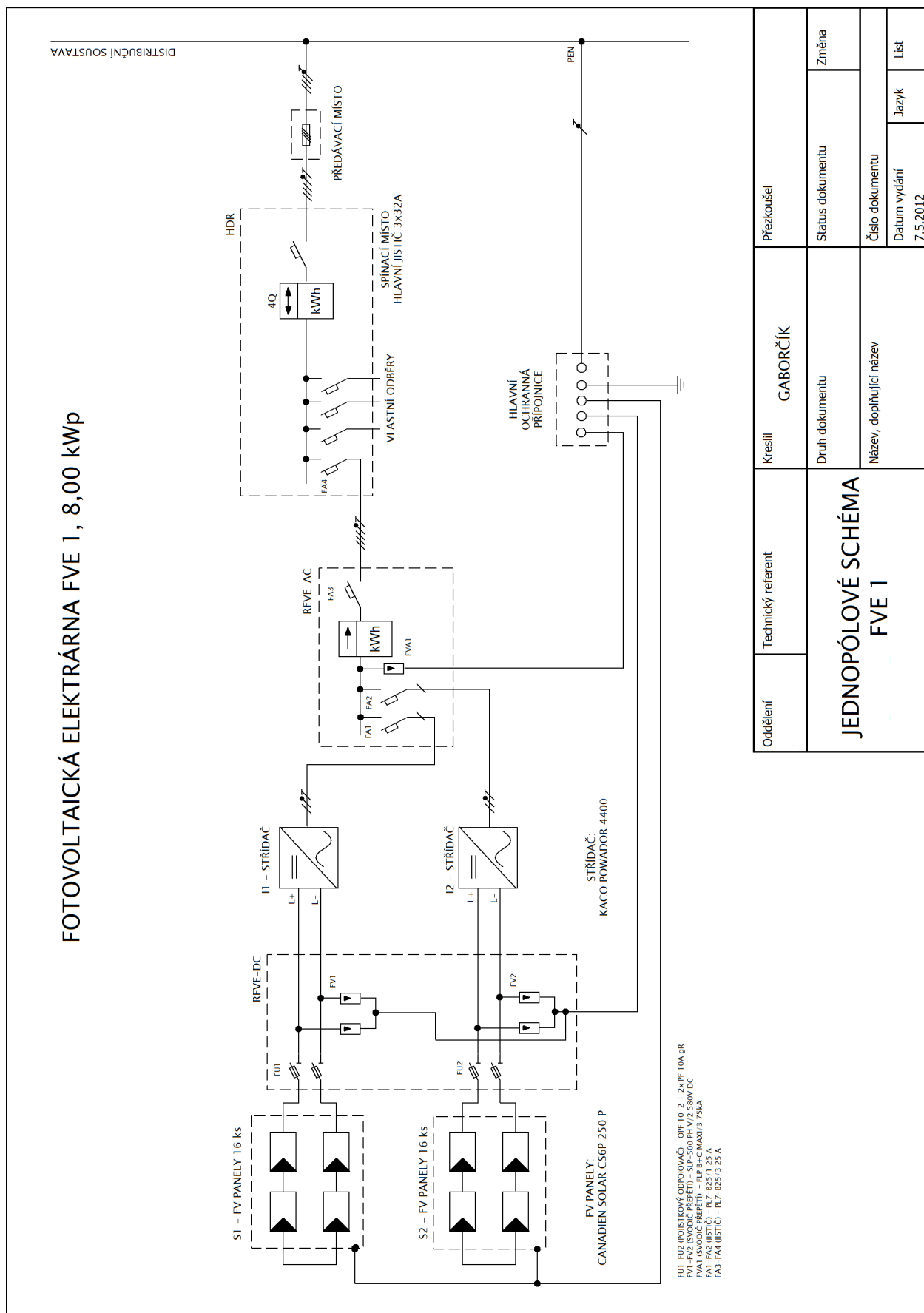
Typ střídače		Powador 4400	Powador 6002
Jmenovitý výkon AC	kW	3,60	5,00
Maximální výkon DC	kW	4,40	6,00
Rozsah napětí (MPP)	V	350...800	200...600
Maximální proud DC	V	12,00	26,50
Účinnost (Euro)	%	95,9	95,3

Vhodným sériovo-paralelním zapojením FV panelů jsou získané požadované hodnoty napětí a proudů na vstupu do střídače, tak aby byl provozován s maximálním možným výkonem resp. účinností, která je závislá na vstupním napětí. Pro dané systémy je proveden návrh zapojení a kontrola vstupních parametrů do střídačů pomocí návrhového programu KacoCalc [34]. Také je zajištěna kontrola parametrů při změnách teplot. Pro systém FVE 1 je zvolen jeden řetězec s 16ks panelů pro každý střídač. Pro systém FVE 2 je zvoleno 6 řetězců s 6 ks panelů v jednom řetězci. Detail návrhu pro oba systémy je uveden v přílohách E a F.

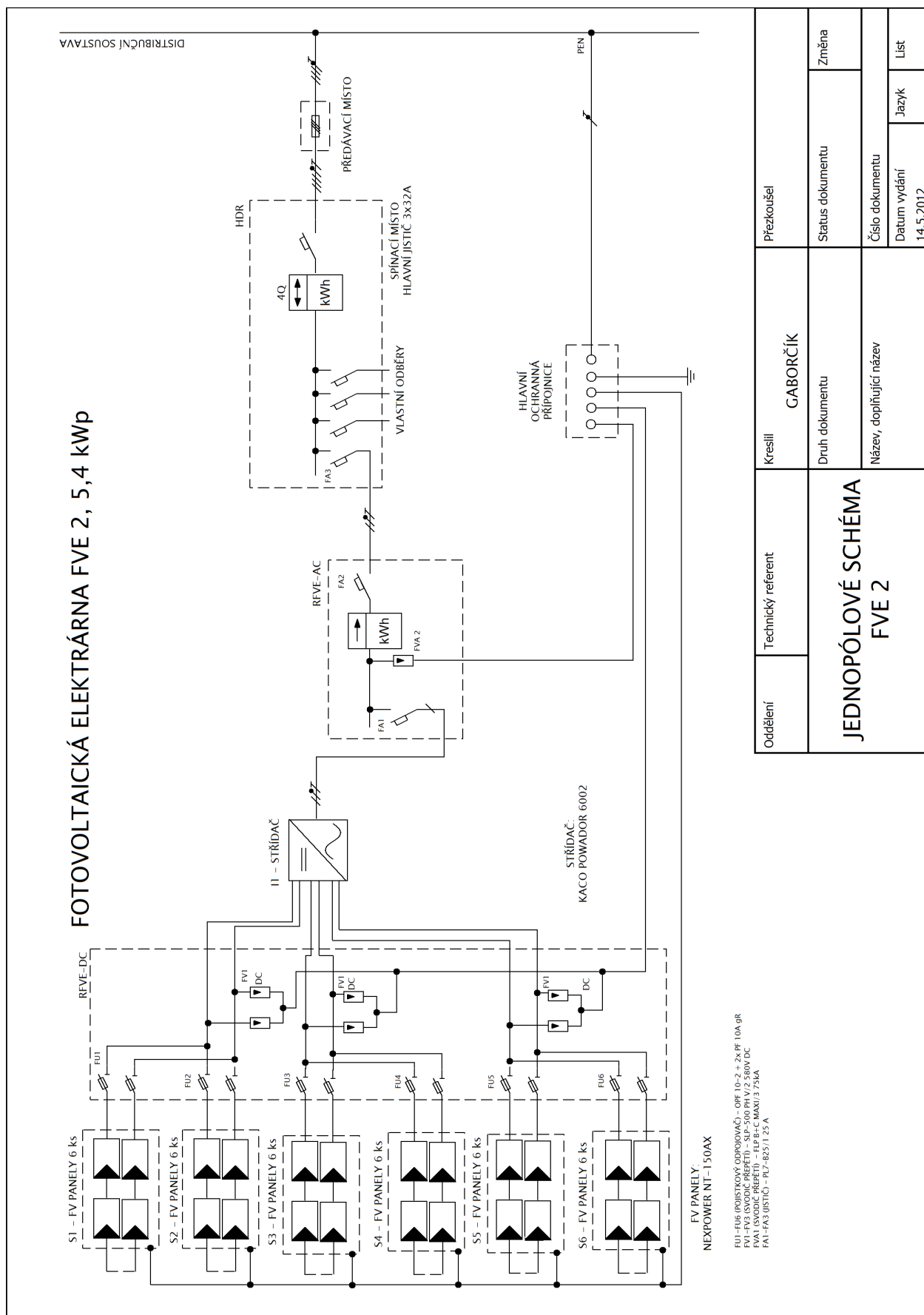
## 7.2 Návrh elektrického zapojení systému

Provedení instalace FV systému musí odpovídat platným předpisům a ČSN, týkajících se především prací a obsluhy na elektrických zařízeních, ale také montážních prací na kabelových vedeních. Ochrana před bleskem není touto prací řešena.

Vyrobená energie z jednotlivých řetězců je vedena do rozvaděče RFVE-DC. Při návrhu zapojení je nutné uvažovat ochranu nejen připojených vodičů ale i FV panelů a střídače ohrožované atmosférickými přepětími. Z tohoto důvodu je v rozvaděči instalováno jištění DC částí a osazení přepětových ochrana DC strany systému. Dále je energie vedena do daného střídače, podle systému, kde je DC vstup přeměněn na AC výstup se síťovými parametry 230 V, 50 Hz. Střídač má integrovány frekvenční a napětové ochrany a také sám hlídá stav sítě. Na síťové straně má střídač zabudovaný proudový chránič typu B, vzhledem k možnosti přenosu DC poruchového proudu do elektroinstalace. Ze střídače je energie vedena do rozvaděče RFVE-AC, kde je provedeno jištění a je osazen úředně cejkovaný elektroměr pro stanovení vyrobené elektrické energie. Z rozvaděče RFVE-AC je provedeno napojení na stávající rozvod objektu, resp. na distribuční síť. V hlavním domovním rozvaděči (HDR) je nutná instalace 4 kvadrantového elektroměru. Samotné rozvody jsou navrženy s použitím kabelů CYKY-J 3(5)x6 mm<sup>2</sup> a SolarFlex 1x6mm<sup>2</sup>, které jsou odolné vůči UV záření, mechanickému namáhání, teplotním vlivům a jsou odolné vůči šíření plamene. Kabely jsou uloženy v ochranných trubkách pod omítkou a ve vkladacích lištách u vedení uvnitř objektu. Oba rozvaděče a měniče budou umístěny v garáži objektu.



Obr. 7 - 1: Jednopolové schéma zapojení FVE 1, 8,00 kWp



Obr. 7 - 2: Jednopolové schéma zapojení FVE 2, 5,40 kWp

## 8 TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cílem této části práce bude určení předpokládané spotřeby a výroby rodinného domu s využitím systému TČ pro vytápění a FV systémů pro výrobu elektrické energie. Následně budou určeny pořizovací a provozní náklady, pomocí kterých budou varianty systému zhodnocené z ekonomického hlediska.

### 8.1 Technické zhodnocení

Technické zhodnocení je provedeno prostřednictvím bilance energií a jeho účelem je dát ucelenou představu o rozložení celoroční potřeby, spotřeby a výroby energie. Díky konzultaci s projekčním inženýrem ze společnosti IVT je výrazně doporučeno využití průměrného ročního topného faktoru vzhledem k faktu, že zahrnuje i spotřebu elektrické energie elektrokotlem a ventilátorem. Tuto hodnotu má výrobce stanovenou měřením na již instalovaných systémech a pro nízkoenergetické budovy s využitím nízko-teplotních topných těles je stanovena na 3,0. Pro ohřev teplé vody je uvažován tento faktor zvlášť s hodnotou 1,7. Je nutné počítat s tím, že rozložení spotřeby v jednotlivých měsících se bude lišit od reálných hodnot, ale v celoročním součtu, by mělo mít adekvátní hodnotu.

Pomocí programu PVGIS [35] byly stanoveny jednotlivé předpokládané měsíční zisky FV systému pro konkrétné technologii, výkon a umístění (sklon, orientace, poloha). Celá výstupní zpráva výpočtu je umístěna v příloze G.

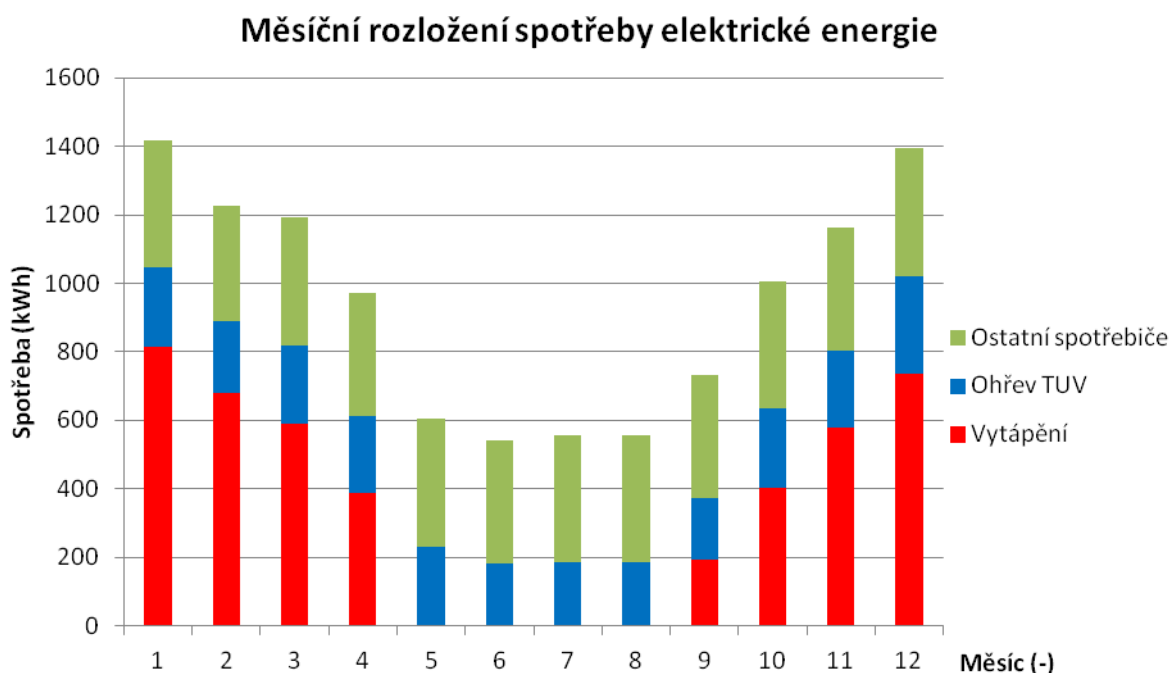
Tab. 8 - 1: Měsíční rozložení potřeby primární energie, spotřeby a výroby elektrické energie

Měsíc	Potřeba		Spotřeba				Výroba	
	$Q_V$	$Q_{TUV}$	$P_V$	$P_{TUV}$	$P_{El}$	$P_C$	FVE 1	FVE2
-	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1.	2440	394	813	232	372	1417	284	192
2.	2044	356	681	209	336	1227	417	184
3.	1764	394	588	232	372	1192	669	460
4.	1159	381	386	224	360	971	826	573
5.	0	394	0	232	372	604	960	668
6.	0	305	0	180	360	540	916	637
7.	0	315	0	185	372	557	997	694
8.	0	315	0	185	372	557	917	639
9.	580	305	193	180	360	733	721	500
10.	1209	394	403	232	372	1007	601	414
11.	1739	381	580	224	360	1164	280	190
12.	2207	487	736	286	372	1394	197	133
Celkem ročně			<b>4379</b>	<b>2605</b>	<b>4380</b>	<b>11364</b>	<b>7780</b>	<b>5380</b>

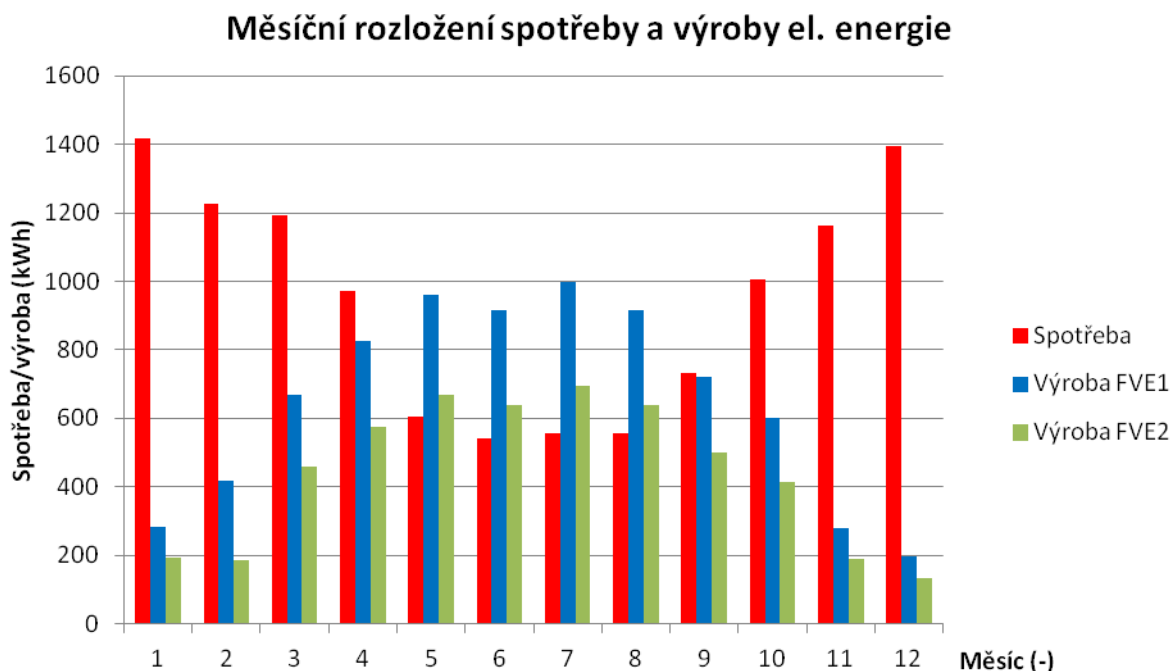
$Q_V$ ,  $Q_{TUV}$  – měsíční potřeba energie pro vytápění, resp. ohřev TUV, hodnoty vypočteny podle vztahů 5.4 a 5.7

$P_V$ ,  $P_{TUV}$ ,  $P_{El}$  – předpokládaná měsíční spotřeba elektrické energie na vytápění, ohřev TUV a provoz dalších spotřebičů. Hodnoty  $P_V$  a  $P_{TUV}$  jsou vypočteny podílem hodnot  $Q_V$  a  $Q_{TUV}$  uvedenými průměrnými ročními topnými faktory.

pozn.: pro výpočet potřeby tepla je uvažován 20% pokles spotřeby TUV v 6. - 9. měsíci a neměnnou celoroční denní spotřebu elektrické energie dalšími spotřebiči 12 kWh.



Obr. 8 - 1: Graf rozložení spotřeby elektrické energie v jednotlivých měsících



Obr. 8 - 2: Graf měsíční rozložení spotřeby a výroby elektrické energie

Z vypočtených hodnot a jejich porovnání, lze vyvodit závěr, že v letních měsících jsou oba navrhované systémy schopny vyrobit veškeré množství spotřebovávané domácností, kdežto

v zimních s nižšími hodnotami intenzity záření a provozem TČ i za účelem vytápění je fotovoltaický systém značně nedostačující. V případě spotřeby veškeré vyrobené energie je systém s polykrystalickými články schopen z celoročního hlediska pokrýt přibližně 68,5 % a systém s tenkovrstvou technologií 47,3 %. Tyto hodnoty se však od reálných budou lišit především z důvodu nesoudobosti výroby a spotřeby el. energie a nerovnoměrnosti dodávky do jednotlivých fází.

## 8.2 Ekonomické zhodnocení

Pro určení ekonomických výhodnosti investice do systému je nutné znát mimo pořizovacích nákladů i provozní náklady, které určují samotnou úspornost, resp. zisk. V první části bude zhodnocen provoz TČ ve srovnání s elektrokotlem a následně provoz fotovoltaických systémů. Postup ekonomického zhodnocení je proveden dle uvedené výpočtové pomůcky. [36]

### 8.2.1 Tepelné čerpadlo

Pořizovací náklady na systém s TČ jsou určeny dle platného ceníku Tepelná čerpadla IVT spol. s r.o. Pro srovnání je vybrán elektrokotel Protherm Ray 9K (9kW) se zásobníkem TUV s nepřímým ohřevem Preotherm B200S. Při výpočtech je předpokládána konstantní roční spotřeba ostatní elektrické energie 4400 kWh. Dále jsou uvažovány rozdílné tarifní sazby elektřiny pro TČ (D 56d) a pro elektrokotel (D 45d). Ceny jsou dle ceníku E.ON Distribuce platného k 11.5.2012. Předpokládána životnost tepelného čerpadla je 15 let. Pro zhodnocení budou použity metody doby návratnosti a diskontovaných nákladů.

Tab. 8 - 2: Pořizovací náklady systému s TČ a elektrokotlem

TČ IVT Air 70	133 000 Kč	Protherm Ray 9K	16 800 Kč
IVT Combimudul 200 A/W	109 000 Kč	Zásobník TV Protherm B200S	17 360 Kč
Montážní materiál a práce	7 000 Kč	Montážní materiál a práce	10 000 Kč
Celkem	249 000 Kč	Celkem	44 160 Kč
<b>Celkem s DPH 20%</b>	<b>298 800 Kč</b>	<b>Celkem s DPH 20%</b>	<b>52 992 Kč</b>

Tab. 8 - 3: Srovnání ročních provozních nákladů

Odběr energie	Medium	Spotřeba	Cena	Náklady
	-	kWh	Kč/jednot.	Kč
<b>Tepelné čerpadlo</b>				
Vytápění	Elektřina	4 379	2,58 Kč	11 308 Kč
Ohřev teplé vody	Elektřina	2 605	2,58 Kč	6 728 Kč
Ostatní - NT 22 hodin	Elektřina	4 048	2,58 Kč	10 453 Kč
Ostatní - VT 2 hodiny	Elektřina	352	3,42 Kč	1 205 Kč
Stálý plat - Jistič	do 32 A	12(měsíců)	426,00 Kč	5 112 Kč
<b>Celkové roční provozní náklady</b>				<b>34 806 Kč</b>
<b>Elektrokotel</b>				
Vytápění+TUV	Elektřina	17726	2,58 Kč	45 773 Kč
Ostatní - NT 20 hodin	Elektřina	3740	2,58 Kč	9 658 Kč
Ostatní - VT 4 hodiny	Elektřina	660	3,42 Kč	2 260 Kč
Stálý plat - Jistič	do 32 A	12(měsíců)	426,00 Kč	5 112 Kč
<b>Celkové roční provozní náklady</b>				<b>62 803 Kč</b>

- Zisk – je definován jako úspory při aplikaci tepelného čerpadla v porovnání se systémem využívajícím elektrokotel tj. rozdíl jejich provozních nákladů.

$$Z_d = 62\,803 - 34\,806 = 27\,997 \text{ Kč} \quad (7.1)$$

- Doba návratnosti – udává počet let, za které příjmy dosáhnou hodnoty počáteční investice.

$$PB = \frac{K_i}{Z_d} \quad (r; \text{Kč, Kč}) \quad (7.2)$$

$K_i$  – pořizovací náklady

$Z_d$  – čistý roční zisk

$$PB = \frac{298\,800}{27\,997} = 10,67 \text{ roku}$$

- Metoda diskontovaných nákladů – je ukazatel zohledňující všechny náklady za celou dobu životnosti. Pro zjednodušení jsou předpokládány konstantní provozní náklady. Uvažovaná roční úroková míra ( $i$ ) je 4 %.

$$DC = K_i + N_p \cdot \left( \frac{1}{q^r} \cdot \frac{q^r - 1}{q - 1} \right) \quad (\text{Kč; Kč, Kč, -}) \quad (7.3)$$

$N_p$  – roční provozní náklady

$q = 1 + i \quad (i = 0,04)$

$r$  – počet sledovaných let

$$DC_{TC} = 298\,800 + 34\,806 \cdot \frac{1}{1,04^{15}} \cdot \frac{1,04^{15} - 1}{1,04 - 1} = 685\,787 \text{ Kč}$$

$$DC_{EK} = 55\,992 + 62\,803 \cdot \frac{1}{1,04^{15}} \cdot \frac{1,04^{15} - 1}{1,04 - 1} = 754\,260 \text{ Kč}$$

$$\Delta DC = DC_{EK} - DC_{TC} = 754\,260 - 685\,787 = 68\,473 \text{ Kč}$$

Z vypočtených hodnot lze usoudit, že provoz tepelného čerpadla v porovnání s elektrokotlem je z dlouhodobého hlediska ekonomicky výhodnější investice. Způsobeno to je především tím, že TČ spotřebovává až o 60,6 % méně elektrické energie v porovnání s elektrokotlem, a tím je dosaženo značně nižších provozních nákladů. Dlouhá doba návratnosti a menší rozdíl diskontovaných nákladů porovnávaných systému je dán především mnohonásobně vyššími pořizovacími náklady na systém s TČ. Dá se však předpokládat, že systém využívající jako zdroj tepla moderní spalovací kotel na uhlí by byl ekonomicky výhodnější.

### 8.2.2 Fotovoltaický systém

V této podkapitole je provedeno ekonomické zhodnocení dvou navržených provedení fotovoltaických systémů. Pořizovací ceny jsou získané z katalogů společností s nejnižšími cenami na trhu. Je uvažován výše popsáný rodinný dům s danou spotřebou elektrické energie. Pro rok 2012 je platná snížená 14% sazba DPH a to na technické prostředky i montážní práce. Pro ekonomické zhodnocení fotovoltaických systémů a výběru nejvhodnější varianty budou použité tři ekonomické ukazatele a to: doba návratnosti, metoda čisté současné hodnoty a metoda vnitřního výnosového procenta.

Tab. 8 - 4: Odhadované pořizovací náklady na fotovoltaické systémy

#### FVE 1, 8,00kWp

32 x FV panel Canadien Solar CS6P 250P	184 000 Kč
2 x Měnič Kaco Powador 4400	58 396 Kč
Nosná konstrukce	14 660 Kč
Elektrorozvaděče s ochrannými a jistíci prvky	12 500 Kč
Kabeláž a konektory	5 500 Kč
Montážní práce	32 000
Celkem	307 056 Kč
<b>Celkem s DPH 14%</b>	<b>350 044 Kč</b>

#### FVE 2, 5,40kWp

36 x FV panel NetPower – NT150AX	116 640 Kč
1 x Měnič Kaco Powador 6002	36 640 Kč
Nosná konstrukce	15 880 Kč
Elektrorozvaděče s ochrannými a jistíci prvky	14 300 Kč
Kabeláž a konektory	6 300 Kč
Montážní práce	34 000 Kč
Celkem	223 760 Kč
<b>Celkem s DPH 14%</b>	<b>255 086 Kč</b>

Pro jednotlivé systémy jsou níže vypočteny výnosy obou systému pro obě formy podpory, tj. zeleného bonusu (ZB) a výkupní ceny (VC). Vzhledem k nesoudobosti výroby elektrické energie a spotřeby je pro vypovídající srovnání uvažováno, že z celkového hlediska je v domácnosti spotřebováno 50 % vyrobené energie ze systému FVE 1 a totéž množství spotřebované energie je uvažováno i ze systému FVE 2. Zbytek nespotřebované energie je dodáván do sítě za výkupní cenu (závisí na smluvních podmínkách, uvažováno 0,1 Kč/kWh). Celkové příjmy u režimu zeleného bonusu jsou uvažovány jako součet tržby za veškerou vyrobenou elektřinu (5,08 Kč/kWh), prodeje přebytků a vzniklé úspory spotřebou vyrobené elektřiny přímo v domácnosti, která by jinak musela být nakoupena (D56d 2,58 Kč/kWh). V případě, že jsou příjmy z provozu FV systému jediným příjmem fyzické osoby, je zanedbávána daň z příjmu, protože z daného zisku vypočtená daň je nižší než základní sleva na poplatníka 24 840 Kč (údaj pro rok 2012). Pro zjednodušení výpočtu je v daném případě zanedbávané daňové zatížení. V reálné situaci je rozdílem příjmů a odpisů navýšen daňový základ z hlavního příjmu, takže daň z příjmů a příslušné odvody je nutné odvést a uvažovat je při výpočtu ekonomických ukazatelů. [36]



Tab. 8 - 5: Odhadované výnosy fotovoltaických systémů

FV systém		FVE 1		FVE 2	
Forma podpory		ZB	VC	ZB	VC
Výkupní cena	Kč/kWh	5,08	6,16	5,08	6,16
Vyrobeno	kWh	7 780	7 780	5 380	5 380
Spotřebováno	kWh	3 890	0	3 890	0
Nespotřebováno	kWh	3 890	7780	1 490	5380
Úspora (vůči nákupu)	Kč	10 036	0	10 036	0
Tržba ZB/VC	Kč	39 522	47 925	27 330	33 141
Prodej přebytků	Kč	389	0	149	0
<b>Zisk celkem</b>	<b>Kč</b>	<b>49 948</b>	<b>47 925</b>	<b>37 516</b>	<b>33 141</b>

- Výpočet doby návratnosti:

$$PB = \frac{K_i}{Z_d} = \frac{354\,044}{49\,948} = 7,01 \text{ roku}$$

Tab. 8 - 6: Doby návratností fotovoltaických systémů

FV systém		FVE 1		FVE 2	
Forma podpory		ZB	VK	ZB	VK
Doba návratnosti	roky	7,01	7,30	6,80	7,70

- Metoda čisté současné hodnoty (NPV) – udává rozdíl mezi celkovými aktualizovanými příjmy po dobu životnosti a pořizovacími náklady. V případě, že hodnota NPV > 0 lze považovat systém za efektivní a ekonomicky nejvýhodnější variantou je ta, která dosáhne nejvyšší hodnoty NPV. (pro všechny případy je uvažována úroková míra 4 %)

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{Z_d}{(1+i)^j} - K_i \quad (\text{Kč; Kč, \%, r, Kč})$$

$i$  – úroková míra

$j$  – doba životnosti (roky)

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{49\,948}{(1+0,04)^j} - 354\,044 = 331\,809 \text{ Kč}$$

Tab. 8 - 7: Čistá současná hodnota fotovoltaických systémů

FV systém		FVE 1		FVE 2	
Forma podpory		ZB	VK	ZB	VK
NPV	Kč	324 427	297 014	254 567	195 132

- Vnitřní výnosové procento (IRR) vyjadřuje hodnotu úrokové míry, při které dosáhnou celkové příjmy rovné pořizovacím nákladům. Opět je nejvýhodnější varianta s nejvyšší hodnotou IRR.

$$\sum_{j=0}^n \frac{Z_d}{(1 + IRR)^j} = K_i \quad (\text{Kč; Kč, \%, r, Kč})$$

$$IRR = 13,72 \%$$

Tab. 8 - 8: Vnitřní výnosové procento fotovoltaických systémů

FV systém		FVE 1		FVE 2	
Forma podpory		ZB	VK	ZB	VK
NPV	%	12,83	12,16	13,53	11,51

Z vypočtených hodnot lze usoudit, že ekonomicky výhodnější je pro domácnost výběr formy podpory prostřednictvím zelených bonusů. Pro dosažení největších zisků (resp. úspor) by bylo žádoucí zajištění spotřeby co největšího množství vyrobené elektrické energie v domácnosti a tím dosáhnout snížení množství nakupované elektřiny. Vzniklé úspory by byly ještě markantnější u domácností s jinou tarifní sazbou, než je tomu v daném případě. Z ekonomického hlediska lze považovat za nejefektivnější investici do systému FVE 2 využívající tenkovrstvou technologii s podporou zeleného bonusu. Tento systém má nejkratší dobu návratnosti 6,80 roku, dosahuje nejvyššího výnosového procenta 13,53 % a zároveň má podstatně nižší pořizovací náklady. Pro systém FVE 1 mluví především metoda čisté současné hodnoty, vzhledem k vyššímu výkonu a vyšším tržbám za zelený bonus. V porovnání se zeleným bonusem oba systémy s přímým prodejem do sítě vychází méně ekonomicky výhodné. Pro uvedení do reálné situace je ale nutné podotknout, že v tomto případě byla při výpočtech provedena řada zjednodušení (především neuvažování daně z příjmu, vliv odpisů, pokles výkonu, inflace a dalších investic), které mohou do značné míry snížit výnosnost systému a změnit ekonomické ukazatele. Přesto však lze předpokládat, že investice do fotovoltaického systému je stále relativně efektivní zhodnocení peněžních prostředků v porovnání s veškerými spořeními a termínovanými vklady, u kterých se maximální dosažitelný úrok pohybuje kolem 4 %.

## 9 ZÁVĚR

Cílem první části této práce je seznámení s dostupnými možnostmi napájení rodinného domu za použití obnovitelných zdrojů energie. Je objasněn princip funkce a způsob provozu aktivních solárních systémů a tepelných čerpadel určených pro ohřev teplé vody a vytápění. Následně je také přiblížena problematika výroby elektrické energie prostřednictvím fotovoltaických systémů.

Ve stěžejní praktické části práce je pro konkrétní rodinný dům stanovena potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. Z těchto hodnot se vychází při návrhu otopného systému a systému pro ohřev užitkové vody. Pro daný případ je zvoleno popsané tepelné čerpadlo vzduch-voda, které bude sloužit pro ohřev topné i teplé vody. Čerpadlo je zapojeno v bivalentním zapojení a mělo by být schopno pokrýt přibližně 91 % celkové roční potřeby tepla na vytápění, zbývající část je dodána elektrokotlem. Pro daný systém využívající tepelné čerpadlo je v práci následně navrženo hydraulické schéma a elektrické schéma zapojení celého systému.

Při srovnání spotřebované energie na vytápění a ohřev teplé vody vychází tepelné čerpadlo vůči elektrokotli značně výhodněji. Při aplikaci TČ je předpokládaná spotřeba elektrické energie až o 61 % nižší v porovnání s elektrokotlem. Avšak tato výhoda tepelného čerpadla je vykompenzována výrazně vyššími pořizovacími náklady, které ekonomickou výhodnost investice značně ovlivňují. Doba návratnosti byla stanovena na 10,67 roku a při srovnání celkových diskontovaných nákladů obou variant vychází tepelné čerpadlo po 15 letech předpokládaného provozu o 68 473 Kč úsporněji oproti elektrokotli.

V další části práce jsou navrženy dvě varianty fotovoltaického systému pokrývající jižní část střechy rodinného domu. Pro srovnání návrh počítá se systémem využívajícím polykrystalickou technologii o výkonu 8,00 kWp a tenkovrstvou technologii 5,4 kWp. Vzhledem k požadavku napájení domu vyrobenou elektřinou je proveden návrh elektrického zapojení obou systémů, u kterých se počítá s pokrytím části spotřeby rodinného domu a prodejem případných přebytků do sítě, tj. s formou podpory prostřednictvím zeleného bonusu.

Z předpokládaných hodnot vyrobené elektrické energie lze vyvodit, že oba systémy jsou schopny v letních měsících vyrobit s rezervou celý objem spotřeby energie objektu. Avšak v zimních měsících je závislost na dodávce elektřiny ze sítě značná a výroba je silně nedostačující. Nejsledovanějším parametrem každé investice je její ekonomická výhodnost, kterou určují příslušné ekonomické ukazatele vycházející z předpokládaných pořizovacích nákladů, výroby, spotřeby a výkupních cen. Pro objektivní srovnání technologií v případě zapojení pro pokrytí vlastní spotřeby, bylo stanoveno určité množství vyrobené elektřiny, která bude spotřebována vlastním objektem. Do srovnání jsou zahrnuty obě formy podpory tj. zelený bonus i výkupní ceny. Dle předpokladu vychází u obou navržených systémů výhodněji volba zeleného bonusu vzhledem k úsporám vzniklým vlastní spotřebou. Je však nutné dodat, že je výhodnější provozovat systém s výkonem, který je schopen z větší části spotřebovat vyrobenou elektřinu, protože při výrazných přebytcích výroby se ekonomická výhodnost v porovnání s výkupními cenami značně snižuje. Z vypočtených ekonomických ukazatelů se jeví nejvýhodnější využití kombinace zeleného bonusu a systému s tenkovrstvou technologií, který má předpokládanou dobu návratnosti 6,80 roku a hodnotu vnitřního výnosu 13,53 %. Nejvyšší čistá současná hodnota je určena pro systém s polykrystalickou technologií, který po 20 letech provozu s podporou zeleného bonusu dosahuje částku 324 427 Kč. Ve výpočtech avšak nebyly zohledněné některé faktory, a to především daňové zatížení, odvody, vliv odpisů a pokles

výkonu, které zcela zřejmě přispějí ke snížení ekonomické výhodnosti investice. Lze ale předpokládat, že investice zůstane i při zohlednění všech uvedených faktorů stále výhodná.

V minulých letech nastavené podmínky pro podporu výroby energie z obnovitelných zdrojů zapříčinily prudký růst instalací fotovoltaických systémů. Dané podmínky a nastavené výkupní ceny nahrály také malým, ale především velkým investorům, pro které se stal provoz velkých fotovoltaických elektráren výnosným, státem garantovaným byznysem. Raketový nárůst připojování těchto elektráren s vysokými hodnotami instalovaného výkonu způsobil vzestup tržních cen elektřiny vzhledem k štědré dotaci vyrobené elektrické energie. Z energetického hlediska se také objevily oprávněné obavy z problémů vzniklých v přenosové síti provozem velkých zdrojů s proměnlivým výkonem. I přes snížení ekologického zatížení vzhledem k bezemisnímu provozu jsou nutné pro stavby výkonných fotovoltaických elektráren značné volné plochy, které mohly být využity jiným způsobem. U samotného využití fotovoltaických systémů v malých aplikacích převažují výhody a to především ve spotřebě v místě výroby, případně v její blízkosti. Také nedochází ke vzniku nežádoucích vlivů v přenosové síti a v neposlední řadě z pohledu provozovatele dochází ke snížení energetické závislosti na distributorovi a nabízí se možnost vzniku úspor. Současná situace v značné části České republiky je nepříznivá pro rozvoj malých střešních fotovoltaických systémů i přes zrušení stop-stavu trvajících do začátku roku 2012. Důvodem je především naplnění limitu výkonu pro připojení obnovitelných zdrojů elektrické energie dříve instalovanými systémy velkých výkonů. Alternativu pro zájemce o fotovoltaiku mohou představovat autonomní hybridní FV systémy s akumulací energie v kombinaci s elektrickou přípojkou. Pro provoz těchto systémů není potřeba povolení distributora, avšak existuje zde řada úskalí a na vyrobenou elektrickou energii se nevztahuje žádná forma podpory.

Využití obnovitelných zdrojů energie pro napájení rodinných domů má velký potenciál a při správném energeticko-ekonomickém návrhu mohou výrazně přispět ke snížení spotřeby primární energie a provozních nákladů. Jejich širšímu uplatnění bohužel brání především skeptický pohled společnosti vzhledem k stále relativně vysokým pořizovacím nákladům, které i přes vzniklé úspory mohou zapříčinit, že výhodnost investice není tak výrazná a že doba návratnosti systému se může blížit jeho životnosti. Je nutné zdůraznit, že zůstává potřeba náhradního zdroje energie a je nutné počítat s omezeními spojenými s jednotlivými systémy. Dá se však předpokládat, že v budoucnosti, budou-li vyřešené některé slabé stránky těchto systémů a dostatečně poklesnou pořizovací náklady, najdou i obnovitelné zdroje energií své efektivní využití v rodinných domech.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BROŽ, ŠOUREK. Alternativní zdroje energie. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2003, 213s, ISBN 80-01-02802-X
- [2] KLECZEK. Slunce a jeho energie [online]. Technické zařízení budov 2004. [cit. 12-08-11]. <http://www.tzb-info.cz/1948-slunce-a-jeho-energie>
- [3] BERANOVSKÝ, TRUXA. Alternativní energie pro Váš dům, EkoWATT, Brno, 2004, 125s, ISBN 80-86517-89-6
- [4] REGULUS. [online]. 2008, [cit. 12-08-11]. <http://www.regulus.cz/cz/solarni-systemy>
- [5] ŠOUREK. Přímé využití sluneční energie [online]. Technické zařízení budov. 2010 [cit. 12-08-11], <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6518-prime-vyuziti-sluncni-energie-systemy-vyuzivajici-fototermalni-kapalinove-kolektory-i>
- [6] QUASCHNING. Obnovitelné zdroje energií (přeloženo z orig.: Erneuerbare Energien und Klimaschutz), Grada Publishing, Berlin, 2010, 290s, ISBN 978-80-247-3250-3
- [7] STAVEBNĚ TECHNICKÝ ÚSTAV–E A.S. Užití EN norem pro výpočet potřeby tepla a využití primární energie [online]. 2005, [cit. 12-08-11]. <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/5138.pdf>
- [8] HRUBEŠOVÁ. Druhy solárních kolektorů [online]. FAST VUT, Brno, 2004, 6s [cit. 12-08-11], [http://www.fce.vutbr.cz/energie%20budov/Hrubesova\\_Alena.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/energie%20budov/Hrubesova_Alena.pdf)
- [9] EKIM MORAVIA s.r.o., Sluneční vakuový kolektor [online]. 2009, [cit. 12-08-11]. <http://www.ekimmoravia.cz/sluncni-kolektor-vakuovy.html>
- [10] MMM – Solar. s.r.o. Solární kolektor [online]. 2010, [cit. 12-08-11]. <http://www.solarnitechnika.info/nase-nabidka/>
- [11] MATUŠKA. Solární příprava teplé vody [online], Technické zařízení budov, 2006, [cit. 12-08-11], <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/solarni-priprava-teple-vody>
- [12] MATUŠKA. Solární vytápění [online]. Technické zařízení budov. 2006 [cit. 12-08-11]. <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/solarni-vytapeni>
- [13] ČEZ a.s. Obnovitelné zdroje a skupina ČEZ [online]. 2012, [cit. 05-15-12]. <http://www.cez.cz/edee/file/pro-media-2012/obnovitelne-zdroje-energie-a-skupina-cez.pdf>
- [14] SLATINSKÝ. Jak fotovoltaická elektrárna funguje [online]. 2008, [cit. 05-15-12]. <http://www.slatinsky.eu/jak-elektrarna-funguje.html>
- [15] VANEČEK, FEJFAR. Fotovoltaika – jaká je nejlepší dostupná technologie [online]. Fyzikální ústav AV ČR, 2010, [cit. 12-08-11]. <http://energie.tzb-info.cz/fotovoltaika/6327-fotovoltaika-jaka-je-nejlepsi-dostupna-technologie>
- [16] SOLARENVI. s.r.o. Fotovoltaika – Typy instalací [online]. 2010, [cit. 12-08-11]. <http://www.solarenavi.cz/sluncni-elektrarny/typy-instalaci/off-grid/>
- [17] SOLARENVI. s.r.o. Fotovoltaika – Typy instalací. [online]. 2010, [cit. 12-08-11]. <http://www.solarenavi.cz/sluncni-elektrarny/typy-instalaci/grid-on/>
- [18] ONDRÁK. Státní podpora [online]. 2012, [cit. 05-15-12], <http://www.zeleny-bonus.eu/statni-podpora/>
- [19] ERU, Cenové rozhodnutí ERU č.7/2011 [online]. 2011, [cit. 05-15-12].

- [HTTP://WWW.ERU.CZ/USER\\_DATA/FILES/CENOVA%20ROZHODNUTI/CR%20ELEKTRO/2011/ER%20CR%207\\_2011OZEKVETDZ.PDF](http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20ROZHODNUTI/CR%20ELEKTRO/2011/ER%20CR%207_2011OZEKVETDZ.PDF)
- [20] E.ON DISTRIBUCE, a.s. Tisková zpráva 139 [online]. 2012, [cit. 05-15-12].  
<http://www.eon.cz/cs/about-corporate/media/pr/139.shtml>
- [21] EUROPEAN COMMUNITIES. Photovoltaic Geographic Information System. 2010, [cit. 12-08-11]. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [22] Redakce TZB. Tepelná čerpadla [online]. Technické zařízení budov. 2007, [cit. 12-08-11].  
<http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [23] KODEK – SÝKORA s.r.o. Tepelné čerpadla. [online]. 2010, [cit. 12-08-11].  
<http://www.kodek.cz/kategorie/tepelna-cerpadla.aspx>
- [24] PROSPEKT SKUPINY EON. Tepelná čerpadla [online]. 2007, [cit. 12-08-11]. 4s  
[http://www.eon.cz/file/cs/customers/citizen/customer\\_service/Tepelna\\_cerpadla.pdf](http://www.eon.cz/file/cs/customers/citizen/customer_service/Tepelna_cerpadla.pdf)
- [25] REDAKCE TZB. Průměrné venkovní teploty v otopném období [online]. [cit. 12-08-11].  
<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/27-prumerne-venkovni-teploty-v-otopnem-obdobi-pro-ostatni-lokality>
- [26] REDAKCE TZB. Průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách ČR [online]. [cit. 12-08-11]. <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>
- [27] KATALOG TYPOVÝCH PROJEKTŮ RD. Náš Dům s.r.o. 2010, 52s.
- [28] EKOWATT. Energetická Encyklopedie 2008 – Balance a výpočty tepelných ztrát [online]. 2008, [cit. 12-08-11]. <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/12.htm#12>
- [29] REIBERK. Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody [online]. ČVUT, fakulta stavební. 2005, [cit. 12-08-11]. <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [30] STAVEBNĚ TECHNICKÝ ÚSTAV–E A.S. Užití EN norem pro výpočet potřeby tepla a využití primární energie [online]. 2005, [cit. 12-08-11].  
<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/5138.pdf>
- [31] PROCHÁZKA. Energetická balance [online]. ČVUT – FEL, 2001, [cit. 12-08-11].  
[http://www.powerwiki.cz/attach/Peg10/2010-10-11\\_Pr04.pdf](http://www.powerwiki.cz/attach/Peg10/2010-10-11_Pr04.pdf)
- [32] KATEDRA TECHNICKÉHO ZABEZPEČENÍ. Projekční podklady a pomůcky – tepelná čerpadla [online]. ČVUT – TZV, 2010, [cit. 05-15-12]. <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=9>
- [33] CENY ENERGIE. D55d a D56d: Sazba pro tepelné čerpadlo [online]. 2011, [cit. 05-15-12].  
<http://www.cenyenergie.cz/elektrina/clanky/d55d-a-d56d-sazba-pro-tepelne-cerpadlo.aspx>
- [34] KACO. Výpočetní program KacoCalc [online]. 2012, [cit. 05-15-12].  
<http://www.kaco-newenergy.com/pv-string-sizing/kaco-calc/88>
- [35] EUROPEAN COMMISSION. Performance of Grid-connectedPV [online]. 2012, [cit. 05-15-12]  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>
- [36] REDAKCE TZB. Ekonomická efektivnost investic II [online]. 2005, [cit. 12-08-11].  
<http://www.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [37] MĚŠEC.CZ. Daň z příjmu: Změny v roce 2012 [online]. 2012, [cit. 05-15-12].  
<http://www.mesec.cz/clanky/zmeny-v-roce-2012-v-kostce/>

## PŘÍLOHA A: TECHNICKÝ LIST TČ A VNITŘNÍ JEDNOTKY

TEPELNÉ ČERPADLO – venkovní jednotka		IVT AIR 50	IVT AIR 70	IVT AIR 90	IVT AIR 120	IVT AIR 150
Výkon při 7°C / 35°C <sup>1</sup>	kW	5,9	7,6	8,8	12,9	14,4
Příkon	kW	1,4	2,1	2,4	3,4	3,8
Topný faktor při 7°C / 35°C		4,2	3,6	3,7	3,8	3,8
Výkon při 7°C / 45°C <sup>1</sup>	kW	5,6	7,9	9,9	14,3	15,9
Příkon	kW	1,7	2,5	2,9	4,2	4,8
Topný faktor při 7°C / 45°C		3,3	3,2	3,4	3,4	3,3
Výkon při -7°C / 35°C <sup>1</sup>	kW	3,7	5,2	6,0	7,7	10,2
Příkon	kW	1,4	2,1	2,3	3,1	3,8
Topný faktor při -7°C / 35°C		2,6	2,5	2,6	2,5	2,7
Nominální průtok na teplém okruhu	l/s	0,19	0,29	0,34	0,47	0,55
Tlaková ztráta na teplém okruhu	kPa	5	6	7	7	8
Průtok vzduchu	m³/h	2200	2200	2200	5500	5500
Ventilátor	A	0,44 A/230 V	0,44 A/230 V	0,44 A/230 V	0,7 A/400 V	0,7 A/400 V
Elektrické zapojení		400 V, N3 – 50 Hz				
Jistič pro tepelné čerpadlo	A	10			16	
Hmotnost	kg	140	144	152	230	232
Připojení na teplém okruhu		G1" vnitřní závit			G1" vnější závit	
Připojení odvodu kondenzátu		Plast 32 mm				
Množství chladiwa R 407 C	kg	2,5	2,6	2,95	3,2	3,5
Rozměry <sup>2</sup>	mm	840 × 665 × 1223			931 × 724 × 1629	
Odtávání		Horkým plynem přes čtyřcestný ventil				
Kompresor		Mitsubishi Scroll				
Max. výstupní teplota topné vody	°C	65°C (při teplotách nad -15°C)				
Minimální provozní teplota	°C	-20°C				
Hladina akustického tlaku Lp <sup>3</sup>	dB(A)	49,9			56,9	
Hladina akustického výkonu Lw	dB(A)	64,9			72,6	
Opláštění		Galvaniicky pokovený lakovaný plech				
Softstarter		ANO				

TEPELNÉ ČERPADLO – vnitřní jednotka		IVT 290 A/W	IVT Combimodul 200 A/W	IVT Combimodul 300 A/W
Výkon elektrokotle	kW	9	9	12
Regulace výkonu elektrokotle		plynulá		
Elektrický příkon vestavěných oběhových čerpadel	kW	0,2		
Max. elektrický příkon vř. čerpadel	kW	9,2	9,2	12,2
Jištění	A	16	16	20
Elektrické zapojení		400 V, N3 fáze		
Vestavěný ekvitermní regulátor		REGO 800		
Max. tlak na topné vodě	bar	3,0		
Max. tlak na teplé vodě	bar	9,0		
Množství teplé užitkové vody	l	163 l (celkové množství vody 225 l)	185 l (celkové množství vody 225 l)	286 l (celkové množství vody 361 l)
Zásobník teplé vody		nerez s vestavěnou ochrannou elektrickou anodou		
Vestavěný akumulátor	l	není	80	120
Expanzní nádoba na topné vodě	l	12	12	14
Vestavěné oběhové čerpadlo G1 a G2		WILO STAR RS 25/6 – 3		
Připojení směrem k TČ		Cu 22	Cu 22	Cu 28
Připojení k topnému systému		Cu 22	Cu 22	Cu 28
Připojení ke studené vodě + TUV		nerez 22 mm	nerez 22 mm	nerez 28 mm
Hmotnost bez vody/s vodou	kg	122/347	172/482	255/741
Rozměry	mm	600 × 615 × 1660	600 × 600 × 1870	694 × 774 × 1970



# PŘÍLOHA B: TECHNICKÝ LIST CANADIAN SOLAR CS6P 250P

## CS6P-230/235/240/245/250P

### Electrical Data

STC	CS6P-230P	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P
Nominal Maximum Power (P <sub>max</sub> )	230W	235W	240W	245W	250W
Optimum Operating Voltage (V <sub>mp</sub> )	29.6V	29.8V	29.9V	30.0V	30.1V
Optimum Operating Current (I <sub>mp</sub> )	7.78A	7.90A	8.03A	8.17A	8.30A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	8.34A	8.46A	8.59A	8.74A	8.87A
Module Efficiency	14.30%	14.61%	14.92%	15.23%	15.54%
Operating Temperature	-40°C~+85°C				
Maximum System Voltage	1000V (IEC) /600V (UL)				
Maximum Series Fuse Rating	15A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0~+5W				

Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

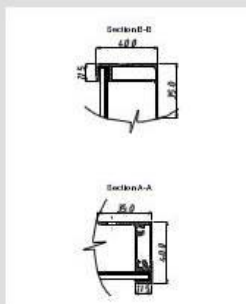
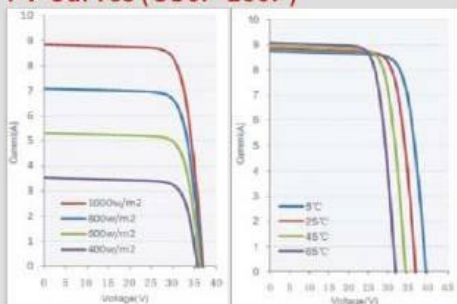
NOCT	CS6P-230P	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P
Nominal Maximum Power (P <sub>max</sub> )	167W	170W	174W	178W	181W
Optimum Operating Voltage (V <sub>mp</sub> )	27.0V	27.2V	27.3V	27.4V	27.5V
Optimum Operating Current (I <sub>mp</sub> )	6.18A	6.27A	6.38A	6.49A	6.60A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	33.8V	33.9V	34.0V	34.1V	34.2V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	6.76A	6.86A	6.96A	7.08A	7.19A

Under Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

### Mechanical Data

Cell Type	Poly-crystalline 156 x 156mm, 2 or 3 Busbars
Cell Arrangement	60 (6 x 10)
Dimensions	1638 x 982 x 40mm (64.5 x 38.7 x 1.57 in)
Weight	20kg (44.1 lbs)
Front Cover	3.2mm Tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP65, 3 diodes
Cable	4mm <sup>2</sup> (IEC)/12AWG(UL), 1100mm
Connectors	MC4 or MC4 Comparable
Standard Packaging (Modules per Pallet)	24 pcs
Module Pieces per container (40 ft. Container)	672 pcs (40'HQ)

### I-V Curves (CS6P-250P)



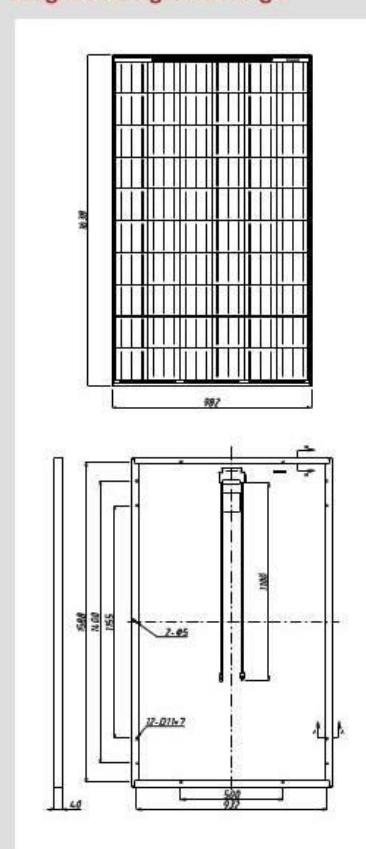
### Temperature Characteristics

Temperature Coefficient	P <sub>max</sub>	-0.43%/°C
	V <sub>oc</sub>	-0.34%/°C
	I <sub>sc</sub>	0.065%/°C
Normal Operating Cell Temperature		45±2°C

### Performance at Low Irradiance

Industry leading performance at low irradiation environment, +95.5% module efficiency from an irradiance of 1000w/m<sup>2</sup> to 200w/m<sup>2</sup> (AM 1.5, 25 °C)

### Engineering Drawings



\*Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice.

### About Canadian Solar

Canadian Solar Inc. is one of the world's largest solar companies. As a leading vertically-integrated manufacturer of ingots, wafers, cells, solar modules and solar systems, Canadian Solar delivers solar power products of uncompromising quality to worldwide customers. Canadian Solar's world class team of professionals works closely with our customers to provide them with solutions for all their solar needs.

Canadian Solar was founded in Canada in 2001 and was successfully listed on NASDAQ Exchange (symbol: CSIQ) in November 2006. Canadian Solar has already expanded its module manufacturing capacity to 2.05GW and cell manufacturing capacity to 1.3GW in 2011.

Headquarters | 650 Riverbend Drive, Suite B  
Kitchener, Ontario | Canada N2K3S2  
Tel: +1-519-954-2057  
Fax: +1-519-578-2097  
inquire.ca@canadiansolar.com  
www.canadiansolar.com



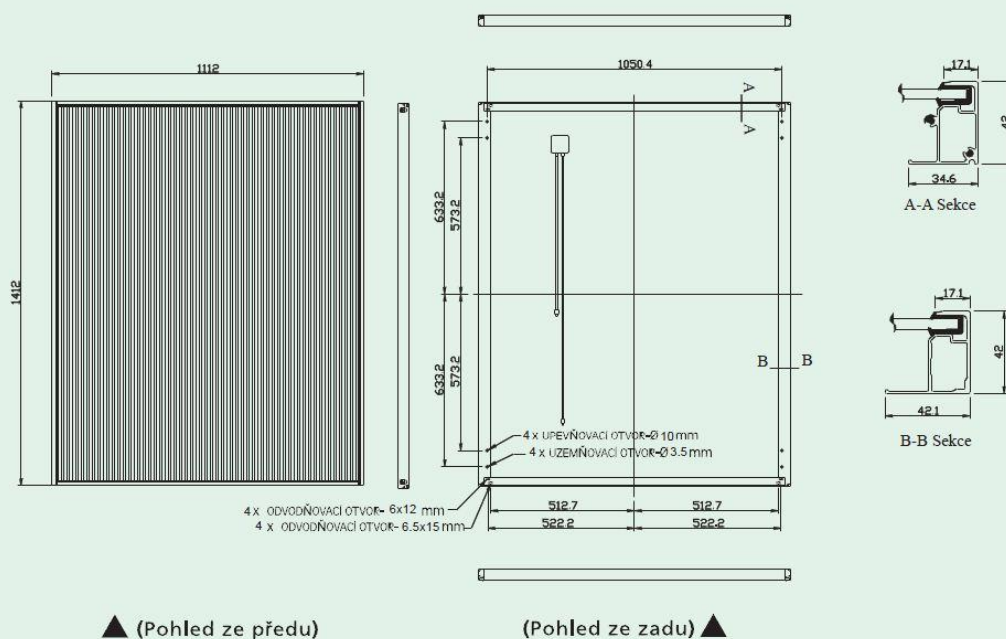
# PŘÍLOHA C: TECHNICKÝ LIST NEXPOWER NT-150AX

## Technické parametry:

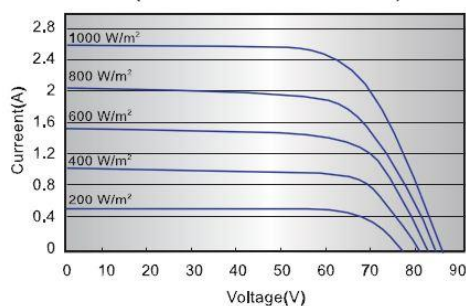
Model	NT - 150AX	NT - 145AX	NT - 140AX
Jmenovitý výkon [W][ $\pm 5\%$ ]	150	145	140
Svorkové napětí [V]	85.5	85.5	84.5
Zkratový proud [A]	2.54	2.51	2.47
Maximální napětí [V]	64.7	64.2	62.8
Maximální proud [A]	2.32	2.26	2.23
Počáteční hodnoty	Max výkon: prostudujte si instalační manuál Svorkové napětí: přibližně o 2% vyšší než stabilizované napětí		
Maximální systémové napětí [V]	1000	1000	1000
Rozměry [mm]	1412*1112*42		
Váha [Kg]	19.8		
Konektor	MC 4 / MC 4 Compatible		
Rozměr kabelů [mm <sup>2</sup> ]	2.5		

## Teplotní koeficienty:

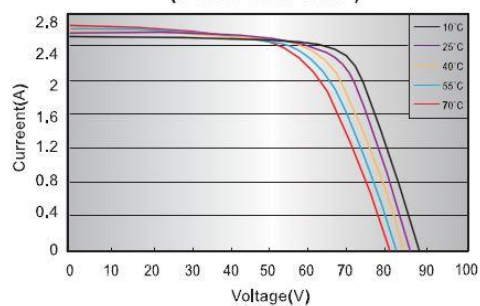
Jmenovitý výkon	-0.28% / °C
Svorkové napětí	-0.32% / °C
Zkratový proud	0.07% / °C



VZTAH PROUDU OPROTI NAPĚTÍ  
(TEPLOTA ČLÁNKU : 25 °C)



VZTAH PROUDU OPROTI NAPĚTÍ  
(Osvit : 1000 W/m<sup>2</sup>)




## PŘÍLOHA D: TECHNICKÝ LIST STŘÍDAČE KACO POWADOR 4400 A KACO POWADOR 6002

Electrical data	4400	6002
<b>Input variables</b>		
PV max. generator output	4400 W	6000 W
MPP range	350 V ... 600 V	200 V ... 510 V
No-load voltage	800 V	600 V*
Max. input current	12.0 A	26.5 A
Number of strings	3	3
Number of MPP controllers	1	1
Inverse polarity protection	short-circuit diode	short-circuit diode
<b>Output variables</b>		
Rated output	3600 W	5000 W
Max. output	4000 W	5000 W
Supply voltage	acc. to local requirements	acc. to local requirements
Rated current	15.6 A	21.7 A
Rated frequency	50 Hz	50 Hz / 60 Hz
cos phi	0.80 inductive ... 0.80 capacitive	0.80 inductive ... 0.80 capacitive
Number of grid phases	1	1
<b>General electrical data</b>		
Max. efficiency	96.4 %	95.9 %
European efficiency	95.8 %	95.3 %
Night consumption	0 W	0.4 W
Switching plan	self-commutated, transformerless	self-commutated, galvanically isolated.
Network monitoring	acc. to local requirements	acc. to local requirements
<b>Mechanical data</b>		
Display	LCD 2 x 16 characters	LCD 2 x 16 characters, LED
Control units	2 buttons for display control	2 buttons for display control
Interfaces	RS232 / RS485, S0	RS232 / RS485, S0
Fault signalling relay	potential-free NOC max. 250 V / 1 A	potential-free NOC max. DC 30 V / 3 A max. AC 250 V / 1,5A
Connections	2 (max. cross section: 10mm <sup>2</sup> ) connection M16, AC-connection M32)	0 mm <sup>2</sup> rigid), g M32)
Ambient temperature	-20 °C ... +60 °C*	-25 °C ... +60 °C**
Temperature monitoring heat sink	impedance matching / > 85 °C cut-out	fan
Cooling	free convection / no fan	fan
Protection class	IP54	IP54
Noise emission	< 35 dB (A) (noiseless)	< 45 dB (A) (fan)
DC-switch	integrated	integrated
Casing	Aluminium	Aluminium
H x W x D	550 x 340 x 220 mm	600 x 340 x 240 mm
Weight	21 kg	28 kg

## PŘÍLOHA E: DIMENZOVÁNÍ FVE 1

K A C O



Vítejte

FV-Schéma systému

Výnos

Schéma střídace

Pocet modulů

Kabelové ztráty

Kabelové ztráty (AC)

Kabelové ztráty AC (3 fáze)

FV-moduly

Střídac

Typ Powador 4400 (3600xi)

Jmenovitý výkon AC 3.60 kW

max. výkon DC 4.40 kW

min. MPP-napětí 350.00 V

max. systémové napětí 800.00 V

max. DC proud 12.00 A

FV-SCHÉMA SYSTÉMU

FV-moduly

Typ FV-modulu: Canadian Solar CS6P-250

min. teplota -10 °C

max. 60 °C

Pocet modulů v řetězci 16

Pocet řetězců 1

Celkový počet modulů 16

Kontrola systému

Výkon FV-generátoru

max. výkon FV-generátoru ve střídaci v kWp 4.40 kW

Výkon FV-generátoru v kWp 4.00 kW Optimální

Poměr výkonu FV-generátoru ke střídaci 1.11

min. MPP-napětí

min. MPP-napětí střídace 350.00 V Optimální

min. MPP-napětí FV-generátoru při: 60 °C 412.90 V

max. napětí naprázdno

max. napětí naprázdno střídace 800.00 V Optimální

max. napětí naprázdno FV-generátoru při: -10 °C 673.50 V

Proud generátoru

max. proud generátoru ve střídaci 12.00 A Optimální

Proud generátoru v MPP 8.22 A

Systémové napětí FV-generátoru (Napětí naprázdno STC)

Systémové napětí FV-generátoru 600 V Optimální

max. systémové napětí vybraných modulů 1000 V


Nastavení

Projektová zpráva


Nápověda

Konec

Storno



## PŘÍLOHA F: DIMENZOVÁNÍ FVE 2

**K A C O** 

FV-SCHÉMA SYSTÉMU

Vítejte

FV-Schéma systému

Výnos

Schéma střídace


Pocet modulů

Kabelové ztráty

Kabelové ztráty (AC)

Kabelové ztráty AC (3 fáze)

FV-moduly



Střídac

Typ **Powador 6002 (5002xi)**

Jmenovitý výkon AC 5.00 kW

max. výkon DC 6.00 kW

min. MPP-napětí 200.00 V

max. systémové napětí 600.00 V

max. DC proud 26.50 A

FV-moduly

Typ FV-modulu: **NexPowew NT-150AX**

min. teplota -10 °C

max. **60 °C**

Pocet modulů v řetězi **6**

Pocet řetězců **6**

Celkový počet modulů **36**

Kontrola systému

Výkon FV-generátoru

max. výkon FV-generátoru ve střídaci v kWp 6.00 kW

Výkon FV-generátoru v kWp 5.40 kW **Optimální**

Poměr výkonu FV-generátoru ke střídaci 1.08

min. MPP-napětí

min. MPP-napětí střídace 200.00 V **Optimální**

min. MPP-napětí FV-generátoru při: 60 °C 330.74 V

max. napětí naprázdno

max. napětí naprázdno střídace 600.00 V **Optimální**

max. napětí naprázdno FV-generátoru při: -10 °C 570.46 V

Proud generátoru

max. proud generátoru ve střídaci 26.50 A **Optimální**

Proud generátoru v MPP 13.92 A

Systémové napětí FV-generátoru (Napětí naprázdno STC)

Systémové napětí FV-generátoru 513 V **Optimální**

max. systémové napětí vybraných modulů 1000 V

Nastavení

Projektová zpráva

Nápověda

Konec

Storno



# PŘÍLOHA G: PŘEDPOKLÁDANÉ HODNOTY VÝKONŮ URČENÉ POMOCÍ PROGRAMU PVGIS



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

## Performance of Grid-connected PV

### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 48°59'53" North, 16°36'11" East, Elevation: 0 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 8.0 kW  
(crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 12.4%  
(using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.9%

Other losses (cables, inverter etc.): 6.0%

Combined PV system losses: 20.1%

Nominal power of the PV system: 5.4 kW (CIS)

Estimated losses due to temperature: 10.3%  
(using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.9%

Other losses (cables, inverter etc.): 6.0%

Combined PV system losses: 18.1%

Fixed system: inclination=40 deg., orientation=-5 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	9.16	284	1.27	39.5
Feb	14.90	417	2.14	59.9
Mar	21.60	669	3.23	100
Apr	27.50	826	4.33	130
May	31.00	960	5.00	155
Jun	30.50	916	4.98	150
Jul	32.20	997	5.30	164
Aug	29.60	917	4.85	150
Sep	24.00	721	3.81	114
Oct	19.40	601	2.94	91.1
Nov	9.32	280	1.35	40.4
Dec	6.35	197	0.89	27.5
Year	21.30	649	3.35	102
Total for year		7780		1220

Fixed system: inclination=40 deg., orientation=-5 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	6.19	192	1.27	39.5
Feb	10.10	284	2.14	59.9
Mar	14.80	460	3.23	100
Apr	19.10	573	4.33	130
May	21.50	668	5.00	155
Jun	21.20	637	4.98	150
Jul	22.40	694	5.30	164
Aug	20.60	639	4.85	150
Sep	16.70	500	3.81	114
Oct	13.30	414	2.94	91.1
Nov	6.35	190	1.35	40.4
Dec	4.29	133	0.89	27.5
Year	14.70	449	3.35	102
Total for year		5380		1220

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2008  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>